

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 601 557**

51 Int. Cl.:

B01J 8/34

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2013 PCT/AT2013/050216**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2014 WO14071436**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2013 E 13817845 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2016 EP 2916941**

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

30 Prioridad:

12.11.2012 AT 12022012

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

15.02.2017

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN (100.0%)
Karlsplatz 13
1040 Wien, AT**

72 Inventor/es:

**SCHMID, JOHANNES;
PRÖLL, TOBIAS y
HOFBAUER, HERMANN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 601 557 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 reactor de lecho fluidizado

El invento se refiere a un sistema reactor de lecho fluidizado para la realización de reacciones químicas o físicas, que comprende uno o varios reactores de lecho fluidizado rápidos.

5 Estado de la técnica

Tanto en los procedimientos físicos, como también en las reacciones químicas, en las que se deba producir un intercambio de materiales entre dos fases, las superficies de contacto lo más grandes posibles y la buena mezcla de las fases son igual de decisivas que los tiempos de permanencia grandes en las correspondientes zonas de contacto o de reacción para obtener rendimientos y producciones elevadas. Esto es válido por igual para todas las transiciones de fases con independencia de que se trate de fases sólidas, líquidas o gaseosas entre las que deba tener lugar el intercambio de materiales.

Una posibilidad para alargar los tiempos de contacto e incrementar la superficie de contacto, respectivamente la cantidad de contactos con partículas discretas en el caso de contactos sólido-líquido y sólido-gas reside en la conducción en contracorriente de las dos fases a contactar como describen por ejemplo para columnas de pulverización (algunas veces con varios escalones), reactores de lecho fluidizado, contactores en contracorriente y columnas compactas A.W.M. Roes y W.P.M. Van Swaaij, Chem. Eng. J. 17, 81-89 (1979). Como ejemplo especial de reacciones de pirólisis y de procesos de transmisión de calor se describe en el documento DE 10 2007 005 799 A1 (publicado el 24 de abril de 2008) el principio de cortacorriente. En él se transforma coque de pirólisis como combustible en un producto gaseoso con elevado poder calorífico, circulando un material a granel, que sirve de portador de calor, por medio de un transportador de material a granel y conduciendo en contracorriente la corriente de gas, que contiene el producto gaseoso.

Otra posibilidad para incrementar la superficie, igualmente mencionada por Roes y Van Swaaij (véase más arriba) es la previsión de elementos internos como los que son conocidos desde hace tiempo en el campo de las columnas compactas, de las columnas de cuerpos de relleno o las columnas de platos giratorios.

El aumento del tiempo de permanencia en contactores o reactores también puede ser obtenido previendo por ejemplo reguladores o limitadores de la circulación con lo que se crean zonas con diferentes velocidades de circulación de las fases a contactar entre sí. Como ejemplo de un reactor de lecho fluidizado de esta clase véase Kersten et. al., Chem. Eng. Sci. 5r8 725-731 (2003). En él se describe un reactor de lecho fluidizado con circulación para la gasificación de biomasa, que por medio de una sucesión regular de ensanchamientos cónicos en el tubo ascendente (riser) es subdividido en zonas con distinta densidad, tanto del material sólido en circulación, como también de los gases soporte y de combustión, siendo conducidas las partículas de material sólido y los gases en una corriente paralela en el tubo ascendente. Debido a las altas velocidades en los comparativamente muy estrechos tubos ascendentes por debajo de los ensanchamientos cónicos no es posible un movimiento hacia abajo de las partículas. En este caso se habla de capas de borboteo ("spouted beds") conectadas en serie. Un ejemplo análogo para mejorar el perfil de circulación en un reactor de capa fluidificada es descrito por J. Bu y J. X. Zhu, Canadian J. Chem. Eng. 77, 26-34 (febrero de 1999), en el que en el tubo ascendente de un reactor de lecho fluidizado con circulación se prevén elementos interiores con forma de anillo, que poseen un efecto comparable con los ensanchamientos cónicos según Kersten et al. (véase más arriba).

Para los sistemas de reactores de lecho fluidizado en los que dos o más reactores fluidizados comunican entre sí apenas se conocen las medidas expuestas más arriba para mejorar el contacto o el intercambio de materiales entre dos fases, en concreto entre una fase sólida y una fase líquida o gaseosa. Así por ejemplo, Berguerand y Lyngfelt describen en Fuel 87, 2713-2723 (2008) una disposición alternante de presas con tramo vertedero superior y presas con tramo vertedero inferior en un sistema de reactores de lecho fluidizado con dos reactores de lecho fluidizado. Esta disposición conocida como bloqueador de partículas ("particle clock") sólo sirve, sin embargo, para la separación de partículas con distintas densidades y no para favorecer el contacto de las partículas y la fase gaseosa.

El documento US 3.353.925 divulga varias estrangulaciones "a modo de tobera" en la sección transversal de un reactor con fluidización rápida en un sistema de capas fluidizadas, que, además, comprende dos reactores, que no transportan partículas. Las estrangulaciones deben mejorar el contacto entre el gas y las partículas, que en este caso se conducen en corrientes paralelas.

Bi et al. divulgan en Ind.Eng. Chem. Res 43(18), 5611-5619 (2004) elementos interiores conocidos como chapas de rebotamiento ("baffles") y que sirven para destruir en un lecho de lecho fluidizado estacionario, es decir formador de burbujas ("bubbling bed"), las burbujas grandes ascendentes y dividirlas en burbujas más pequeñas con el fin de incrementar la homogeneidad del lecho.

Finalmente, los propios inventores del presente objeto de solicitud desarrollaron en trabajos de investigación anteriores un sistema de reactores con lecho fluidizado, que comprende al menos dos reactores construidos como capas fluidizadas con fluidización rápida, previendo al menos en uno de ellos zonas de reacción separadas entre sí por

un o varios reguladores de la circulación y desembocando la tubería de partículas para el transporte de partículas de lecho fluidizado de otros reactores a este reactor por encima de al menos un regulador de la circulación (PCT/AT2011/000254). Un ejemplo de este sistema se representa aquí en la figura 1 y se describirá más tarde con detalle. La clase del regulador de la circulación no es limitada de manera especial, de manera, que se pueden prever estrechamientos o ensanchamientos de la sección transversal del reactor, cambios de sentido de la corriente de partículas así como combinaciones cualesquiera de ellos, por ejemplo también una forma en "zig-zag" del tubo del reactor o la previsión de diferentes elementos interiores, como por ejemplo superficies de rebotamiento centrales o laterales, estrangulaciones con forma anular, etc., que, además, pueden formar ángulos cualesquiera con el sentido de circulación. La clase del correspondiente regulador de la circulación es prefijada en este caso principalmente por la aplicación del sistema de reactores de lecho fluidizado y el material de la pared del reactor utilizable en cada caso.

El principal inconveniente de todas las formas de ejecución conocidas de reguladores de la circulación en los reactores de lecho fluidizado es, sin embargo, que después del montaje en o en los reactores, los caminos de circulación en ellos están prefijados de manera fija, de manera, que para cualquier modificación de ellos es necesaria una adaptación del sistema de reactores, para lo que, naturalmente, es preciso desconectar el sistema.

Exposición del invento

Este objetivo lo alcanza el presente invento con la creación de un sistema de reactores de lecho fluidizado, que comprende uno o varios reactores de lecho fluidizado para la realización de reacciones químicas o físicas, de los que al menos un reactor se configura como reactor fluidizado con fluidización rápida para el funcionamiento como lecho fluidizado en circulación y que en el extremo superior comprende una salida de fluido, un separador de partículas y una tubería de partículas unida con él para el retorno de las partículas del lecho fluidizado separadas al mismo reactor o a otro, estando previstos en al menos un reactor fluidizado con fluidización rápida uno o varios reguladores de la circulación para generar en el interior zonas de reacción separadas entre sí, estando caracterizado el sistema según el invento por el hecho de que para la regulación de las condiciones de circulación en las zonas de reacción uno o varios reguladores de la circulación puede(n) ser ajustado(s) de manera definida desde el exterior del sistema.

Con esta previsión de reguladores de la circulación variables de manera definida se pueden regular el camino de circulación y/o la velocidad de circulación del lecho fluidizado en el punto correspondiente y en el correspondiente reactor. Con ello es por primera vez posible modificar de manera definida las propiedades de circulación del lecho fluidizado en un reactor de lecho fluidizado así equipado durante el funcionamiento, es decir regularlas, lo que incrementa de manera manifiesta la flexibilidad. La desconexión costosa en tiempo y en costes del sistema para prever o sustituir elementos interiores correspondientes del reactor es con ello superflua.

En la forma de ejecución más sencilla del invento con sólo un reactor de lecho fluidizado con fluidización rápida, que también puede ser el único reactor del sistema, se puede dirigir el lecho fluidizado por medio del regulador de la circulación de esta clase variable de manera definida del invento de modo preferido a determinadas regiones del reactor - o dicho con mayor exactitud hacia una zona de reacción situada por encima - que en la posición de partida del regulador de la circulación fue recorrida con menor intensidad por las partículas del lecho fluidizado. En las formas de ejecución preferidas del invento se puede modificar por medio del ajuste de un regulador de la circulación variable de manera definida de esta clase la superficie horizontal de la sección transversal del correspondiente reactor a la altura de este regulador de la corriente, lo que da lugar a un aumento o a una reducción de la velocidad de circulación en este punto, que a su vez tiene como consecuencia, que una cantidad mayor o menor de partículas se concentre en la zona de reacción situada inmediatamente encima.

Los reguladores de la circulación no son (o no sólo son), en otras formas de ejecución preferidas del invento, ajustables horizontalmente, sino que (también) se pueden ajustar verticalmente, con lo que se puede gobernar el tamaño de las zonas de reacción, que se hallan por encima, respectivamente - al existir varios reguladores de circulación - entre ellas. También son posibles mezclas de reguladores de la circulación ajustables horizontal y verticalmente, en algunas ocasiones en uno y el mismo reactor de lecho fluidizado y, como se expuso más arriba, un regulador de la circulación puede también ser ajustable tanto horizontalmente, como también verticalmente. En cualquier caso el objetivo es el ajuste del estado más ventajoso desde el punto de vista de la dinámica de fluidos en la correspondiente zona de reacción en el correspondiente reactor y con ello también en la totalidad del sistema de reactores de lecho fluidizado.

La clase y la manera en las que los reguladores de la circulación ajustables de manera definida pueden ser modificados en su posición no están limitadas de una manera especial, siempre que las variaciones de posición y las variaciones ligadas a ellas de las condiciones de circulación en este punto puedan ser realizadas de manera definida. Sin embargo, con ello no se debe entender un sencilloladeamiento o giro debido al contacto inicial con las partículas del lecho fluidizado al iniciar el funcionamiento de reactor de lecho fluidizado. Sin embargo, en una forma de ejecución del invento uno o varios reguladores de la circulación ajustables de manera definida según el invento pueden contruidos y montados de tal modo, que representen un obstáculo para la circulación del lecho fluidizado, siempre que se haya alcanzado un determinado grado de fluidización y se ejerza una presión correspondiente sobre los reguladores de la circulación. Sin embargo, en el momento en el que se alcanza esta presión se pueden mover los reguladores de la circulación, es decir, que se abaten o vuelcan o giran hacia el lado, con lo que se elimina o al

menos se reduce el obstáculo a la circulación y el lecho fluidizado puede tomar otro camino de circulación y/o adoptar una velocidad de circulación distinta de la anterior.

Los reguladores de la circulación ajustables de manera definida pueden ser ajustados manualmente o también con un motor, siendo también posibles las dos variantes dentro de un reactor o de un sistema de reactores. Después del ajuste definido de esta clase es posible, que los reguladores de la circulación también adopten en algunas ocasiones una determinada posición para mantener el estado de circulación deseado. La dependencia, descrita más arriba, de los reguladores de la circulación de la intensidad de la corriente del gas de fluidización del lecho fluidizado representa un caso especial de la posibilidad de ajuste manual, ya que la corriente de gas puede ser regulada usualmente de manera definida desde el exterior. Por lo demás se pueden prever tipos arbitrarios de palancas, ruedas giratorias o correderas o análogos en los reguladores de la circulación para poder ajustarlos manualmente desde el exterior. También es posible, que los reguladores de la circulación puedan ser accionados por medio de, por ejemplo, un motor eléctrico, hidráulico o neumático, que provoque un movimiento y con ello una variación subsiguiente de la posición de los reguladores de la circulación.

Los reguladores de la circulación del invento ajustables de manera definida están montados con preferencia en o dentro de la correspondiente pared del reactor de manera giratoria, basculable y/o desplazable, como se desprende por ejemplo del dibujo adjunto. El sentido del movimiento no está limitado en este caso, siempre, que no afecte al funcionamiento del reactor de lecho fluidizado. Esto significa, que los reguladores de la circulación ajustables pueden ser desplazables en las tres direcciones del espacio, es decir, con preferencia pueden ser giratorios, basculables y/o desplazables. Su tamaño también puede ser elegido libremente, siempre que el funcionamiento del reactor pueda ser mantenido como se desea. En algunas formas de ejecución también es con ello a veces posible, que la totalidad de la sección transversal del reactor sea cerrada con un regulador de la circulación, hasta que este último haya sido desplazado hasta otra posición, por ejemplo en el caso especial descrito más arriba, donde el movimiento del regulador de la circulación es provocado por la acción de una determinada presión del lecho fluidizado sobre el regulador de la circulación o porque la previsión de un regulador de la circulación ajustable, que se compone de una disposición de láminas dispuestas solapándose mutuamente, que (de manera análoga al obturador de láminas de una cámara fotográfica) son movidas con un motor. El regulador de la circulación movido por medio de una presión también puede comprender láminas, que con una presión de fluidización suficientemente alta se abaten hacia arriba y que, al disminuir la presión por debajo del valor umbral se cierra nuevamente del todo o en parte.

La clase y la forma de los reguladores de la circulación ajustables de manera definida no están limitadas de una manera general. Junto a las formas de ejecución con láminas ya descritas entran igualmente en consideración diferentes clases de elementos de construcción como por ejemplo correderas, trampillas, rodillos o análogos, que a su vez pueden estar conformados de una manera cualquiera, siempre que sean capaces de influir de manera regulable en el camino de circulación y/o en la sección de circulación del lecho fluidizado. Pueden poseer formas de la sección transversal ventajosas desde el punto de vista de la técnica de circulación, es decir formas con una baja resistencia de circulación, como por ejemplo circulares, ovaladas o esféricas y también formas con una resistencia de circulación comparativamente alta, como por ejemplo formas con cantos vivos. En algunas formas de ejecución también pueden representar los reguladores de la circulación una mezcla de las dos variantes, es decir, por ejemplo en la posición en la que el lecho fluidizado debe pasar por ellos lo más inalterada posible, un perfil favorable desde el punto de vista de la técnica de circulación, por el contrario en la posición en la que el lecho fluidizado debe ser bloqueada parcialmente, un perfil con una resistencia de circulación alta. En los reactores de lecho fluidizado no son deseadas de una manera general las resistencias de circulación altas para poder mantener baja la presión del gas de fluidización, por lo que, de acuerdo con el presente invento, se deben preferir los reguladores de la circulación con una resistencia de circulación baja, que despliegan su efecto, sobre todo, por la reducción de la sección transversal de circulación. Ejemplos especialmente preferidos se representan en el dibujo adjunto, que todavía se describirá con detalle más abajo.

En un sistema de reactor de lecho fluidizado según el invento también es posible prever tanto uno o más reguladores de la circulación ajustables de manera definida, como también uno o más reguladores de la circulación conocidos según el estado de la técnica montados de manera fija, como los que se describieron al principio, y ello tanto en reactores separados, como también dentro del mismo reactor.

El material de las dos clases de reguladores de la circulación no está limitado de una manera especial. Lo mismo es válido para el material de las paredes del reactor. Por ejemplo, para aplicaciones CLR, CLC, de gasificación u otras, que exigen temperaturas altas se utilizan predominantemente materiales refractarios y otros materiales resistentes a temperaturas como materiales para la pared, por ejemplo ladrillos de chamota, acero, hormigón, cerámica o también grafito resistente a calor y los reguladores de la circulación, sean ajustables o no, se fabrican con estos materiales para garantizar una larga duración. Esto abarca todos los elementos de construcción de los reguladores de la circulación, incluidos eventuales cojinetes, bisagras, ejes y análogos.

Como ya se mencionó, un sistema de reactores de lecho fluidizado según el invento puede comprender un solo reactor de lecho fluidizado o sólo un reactor de lecho fluidizado con fluidización rápida así como uno o varios otros reactores, por ejemplo reactores de lecho fluidizado estacionarios. Sin embargo, un sistema de reactores de lecho fluidizado según el invento comprende con preferencia al menos dos reactores construidos ambos como capas

fluidizadas rápidamente fluidizadas, comunicando una tubería de partículas el separador de partículas del primer reactor con el segundo reactor, una tubería de adicional de partículas del separador de partículas del segundo reactor retorna al segundo reactor y una terceras tubería de partículas retorna del segundo reactor al primero (comunicando la tercera tubería de partículas los dos reactores con preferencia en la mitad inferior, de manera todavía más preferida en el tercio o el cuarto inferiores), estando previstos en el segundo reactor uno o varios reguladores de la circulación ajustables de manera definida. Un ejemplo de un sistema de esta clase según el estado de la técnica, es decir sin los reguladores de la circulación según el invento ajustables de manera definida se representa, como se mencionó al principio, en la figura 1 y se describirá todavía con detalle en lo que sigue.

De acuerdo con el presente invento se prefiere, que en cada uno de los dos reactores de un sistema de reactores de lecho fluidizado se prevea uno o varios reguladores de la circulación ajustables de manera definida para poder regular las condiciones de circulación en los dos reactores. Además, una tubería de partículas desemboca con preferencia en el reactor correspondiente por encima del al menos un regulador de la circulación para mantener una determinada concentración de partículas en la zona del reactor situada por encima del regulador de la circulación, sin necesidad de ajustar, al menos rápidamente, una corriente de masa, respectivamente de volumen excesivamente grande de gas de fluidización para transportar suficientes partículas a esta zona de reacción.

Con preferencia, dos reactores del sistema de reactores de lecho fluidizado están unidos entre sí adicionalmente por medio de una tubería, que sólo transporta esencialmente gas, como descubrieron los inventores del presente objeto de solicitud en investigaciones anteriores (PCT/AT2011/000311) y representada aquí en la figura 3 y descrita con detalle en lo que sigue en relación con ello.

El invento se describirá en lo que sigue con detalle haciendo referencia al dibujo adjunto, que muestra:

La figura 1 muestra esquemáticamente un sistema de reactores de lecho fluidizado según el estado de la técnica con reguladores de la circulación conocidos no ajustables.

La figura 2 muestra esquemáticamente una forma sencilla de ejecución del sistema de reactores de lecho fluidizado con un solo reactor de lecho fluidizado, que contiene varios reguladores de la circulación ajustables de manera definida.

La figura 3 muestra una forma de ejecución del sistema de reactores de lecho fluidizado con tres reactores.

La figura 4 muestra esquemáticamente otra forma de ejecución del sistema de reactores de lecho fluidizado según el invento con tres reactores.

Las figuras 5 a 7 muestran esquemáticamente diferentes formas de ejecución preferidas de reguladores de la circulación ajustables de manera definida.

Definiciones

Bajo "lecho fluidizado" se debe entender aquí una carga a granel de partículas de material sólido trasladada por medio de una corriente de fluido a un estado fluidizado, es decir capaz de fluir. Como "fluidos" sirven en especial gases puros o mezclas de gases, pero de una manera general también comprenden mezclas de gases y líquidos y/o materiales sólidos, conteniendo usualmente el gas de fluidización cantidades comparativamente pequeñas de líquido (por ejemplo en forma de gotas pequeñas o de material sólido).

Las capas fluidizadas pueden ser "estacionarias" o "fluidizadas rápidamente". La carga a granel posee en el primer caso un límite claramente visible y junto con la corriente de gas sólo se extraen de ella una cantidad relativamente pequeña de partículas (por ejemplo capas fluidizadas formadoras de burbujas o de empuje). En el segundo caso se expulsan hacia arriba de manera continua partículas del lecho fluidizado, que - normalmente a través de un separador - se reciclan en el sistema. Las capas fluidizadas en circulación son con ello en cualquier caso capas fluidizadas con fluidización rápida y los dos conceptos se utilizan aquí de manera sinónima.

Un caso especial de un lecho fluidizado estacionario es una carga a granel fluidizada, de la que no tiene lugar, de acuerdo con la definición, una extracción junto con la corriente de gas, pero que es alimentada de manera continua con partículas, procedentes por ejemplo de un lecho fluidizado con fluidización rápida y de la que se extraen (hacia abajo) continuamente aproximadamente la misma cantidad de partículas para mantener esencialmente constante la expansión del lecho fluidizado. Esto todavía se expondrá con detalle en relación con las figuras 3 y 4.

Bajo un "reactor de lecho fluidizado" o brevemente "reactor" se debe entender aquí una zona limitada dentro de un sistema de lecho fluidizado, en la que reina exactamente un estado de fluidización definido, es decir estacionario o fluidizado rápidamente, y en la que se desarrollan reacciones químicas y/o físicas bajo el contacto con las partículas del lecho fluidizado. Debido al estado de fluidización definido dentro de un reactor se utilizan aquí a veces de manera sinónima los conceptos "lecho fluidizado" y "reactor de lecho fluidizado".

Un "sistema de reactores de lecho fluidizado" es una instalación, que comprende uno o varios reactores de lecho fluidizado junto con los correspondientes separadores de partículas, las tuberías de unión y de alimentación incluidas las eventuales válvulas, reguladores de la circulación y otros componentes, para la realización de

reacciones químicas y/o físicas. Si el sistema comprende más de un reactor de lecho fluidizado con fluidización rápida, representan estos con preferencia cámaras de gas separadas entre sí. Para garantizar la separación se pueden prever barreras de gas, como por ejemplo sifones, que con preferencia también están fluidizados ellos mismos.

5 Descripción detallada del invento

En la figura 1 se representa esquemáticamente, como ya se mencionó, un sistema de reactores de lecho fluidizado según el estado de la técnica, que comprende reguladores de la circulación no ajustables y que es el resultado de trabajos de investigación anteriores de los inventores (véase PCT/AT2011/00025r4). Comprende dos reactores 1 y 2, contruidos ambos como capas fluidizadas con fluidización rápida, cuyas posiciones (es decir la posición de las partículas fluidizadas) se representan por medio de puntos, respectivamente de tonalidades grises. Una tubería 7 de partículas une el separador 3 de partículas del primer reactor con el segundo reactor, otra tubería 8 de partículas retorna del separador 4 de partículas del segundo reactor a este reactor y una tercera tubería 17 de partículas retorna del segundo reactor al primero. Esta tercera tubería 17 de partículas comunica los dos reactores entre sí con preferencia en sus mitades inferiores, con mayor preferencia en el tercio o el cuarto inferior, para, como exponen los inventores en su documento WO 2009/021258 A1, poder gobernar mejor la distribución de las partículas en el sistema. En especial, la tubería 17 desemboca siempre del reactor 2 en la proximidad del fondo y entra siempre en el reactor 1 en la proximidad del fondo, como se representa en la figura 1.

Las tres tuberías 7, 8 y 17 de partículas comprenden un sifón, fluidizado en cada caso como se indica por medio de las flechas, para favorecer el transporte de las partículas, por un lado, y para garantizar la separación de las cámaras de gas de los dos reactores, por otro. Los reactores mismos están fluidizados de manera escalonada, es decir, que el gas de fluidización es introducido en el reactor 1 tanto en 11 como también en 13 y en el reactor 2 en 12 y 14 y sale nuevamente del sistema por la salida 5, respectivamente 6 en la cabeza del correspondiente separador. Una fluidización escalonada de esta clase hace posible un control exacto del estado de fluidización de los reactores.

El reactor 2 es subdividido por reguladores 18 de la circulación (no ajustables) representados aquí como estrangulaciones de la sección transversal del reactor en varias zonas 10 de reacción dispuestas una encima de otra, cuya finalidad se expondrá a continuación por medio de un ejemplo concreto de aplicación de un sistema de esta clase de reactores de lecho fluidizado, a saber para Chemical Looping Reforming (CLC).

En 16 y 19 se representan tuberías de entrada al reactor 2, que en el caso del ejemplo CLC son tuberías de combustible. Así por ejemplo, en 16 se puede aportar un combustible gaseoso como por ejemplo metano, mientras que en 19 se puede aportar un material de alimentación formado al menos en parte por materiales sólidos, por ejemplo carbón. Sin embargo, también es posible la transformación simultánea de dos reacciones distintas de materiales sólidos, que necesiten tiempos de permanencia en el reactor en el reactor 2 para poder transformarlos de manera eficaz. Mientras que a través de 16 se aporta un combustible con desgasificación rápida, por ejemplo basura de material plástico, se pueden aportar a través de 19 por ejemplo nuevamente partículas de carbón. A través de la tubería 15 de entrada también se puede introducir en el reactor 1 un material, como por ejemplo gas combustible.

Considerado en conjunto, se puede (re)oxidar y calentar en el sistema de reactores de lecho fluidizado representado en la figura 1 para el ejemplo CLC un soporte particular de oxígeno, que es inyectado después a través de la tubería 7 de partículas en una zona 10 de reacción del reactor 2 de combustible, donde dentro del lecho fluidizado de este reactor se desplaza con preferencia hacia abajo y se encarga al mismo tiempo en las diferentes zonas de reacción de la oxidación, es decir la combustión, de uno o de varios combustibles introducidos en 16 y/o en 19. A continuación se devuelve el soporte de oxígeno al reactor 1 de aire y se regenera allí. En el reactor 2 de combustible se pueden devolver al sistema a través de la tubería 8 de partículas los residuos sólidos de combustión, pero relativamente finos, como por ejemplo la ceniza volátil de la combustión de carbón, recogidos en separadores 4 de partículas, donde entran nuevamente en contacto con el soporte de oxígeno, lo que garantiza una combustión completa del combustible. Sin embargo, al mismo tiempo también se puede inyectar otro combustible gaseoso, como por ejemplo metano, de manera, que en las diferentes zonas 10 de reacción se hallen diferentes cantidades de participantes de la reacción con lo que también reinan en ellas diferentes temperaturas y se pueden desarrollar diferentes reacciones suma. Estas generan por ejemplo cantidades variables de calor y tamaños variables de los productos sólidos de la reacción, según la posición de la correspondiente zona de reacción. En suma, con los reguladores de la circulación se favorecen una combustión completa y con ello el rendimiento y la eficacia del proceso den su conjunto.

El inconveniente de esta forma de ejecución de un sistema de reactores de lecho fluidizado reside, sin embargo, en el hecho de que el control de todo el circuito cerrado de partículas y de la cantidad de partículas en las diferentes zonas de reacción prácticamente sólo puede tener lugar a través de las cantidades de gas de fluidificación, que pueden ser inyectadas en los reactores en las posiciones 11 a 14 o también, que se forman en el interior del sistema. La totalidad del circuito cerrado de partículas y las cantidades de partículas en las diferentes zonas de reacción no pueden ser reguladas, además, independientemente entre sí. Después del montaje de los reguladores de la circulación en el reactor 2, los estados de circulación obtenibles por variación de la fluidización son prefijados de manera fija.

Un ejemplo para resolver esta problemática según el invento se representa en la figura 2 en forma de una realización relativamente sencilla del invento. El sistema de reactores de lecho fluidizado representado en ella comprende un solo reactor configurado y numerado de manera análoga al reactor 2 del sistema de la figura 1. Comprende un lecho fluidizado con fluidización rápida, que por medio de la entrada de gas de fluidificación en 12 y en 14 genera una carga a granel de partículas. Igual, que anteriormente, la salida de gas tiene lugar en la posición 6, mientras que las partículas son recicladas a través del separador 4, que puede ser por ejemplo un ciclón, y la tubería 8. En las posiciones 16 y 19 se pueden aportar nuevamente materiales de alimentación (iguales o diferentes) de un material bruto a tratar en el reactor, mientras que la tubería 27 de entrada puede servir por ejemplo para reponer las fracciones del material en forma de partículas perdidas por abrasión, pudiendo eliminar a través de la tubería 28 de salida las partículas bastas, por ejemplo la ceniza basta generada en la combustión del material de alimentación.

Al utilizar un sistema de reactores de lecho fluidizado de esta clase para procesos de combustión o de gasificación se podrían inyectar a través de las tuberías 16 y 19 de entrada combustibles en calidad de materiales de alimentación y en la posición 27 se podría aportar material adicional de lecho - en este caso por ejemplo arena de cuarzo y eventuales aditivos, por ejemplo dolomita - y en 28 se podría extraer la ceniza basta generada por el combustible. El símbolo 18 de referencia caracteriza nuevamente reguladores de la circulación, que limitan la sección transversal del reactor en puntos prefijados y lo subdividen así en varias zonas de reacción. Los cuatro reguladores 18 de la circulación subdividen el reactor en cinco zonas de reacción con distintas probabilidades de permanencia del material del lecho y de las partículas de combustible. Contrariamente al estado de la técnica estos reguladores de la circulación representados aquí como correderas, son según el invento ajustables de manera definida, como se indica con las flechas, con lo que - con la misma fluidización del reactor - se puede regular la cantidad de las partículas localizadas en las zonas de reacción situadas por encima así como en la zona de reacción inferior.

Dado que en el tratamiento térmico de partículas sólidas de combustible se pueden generar - igual que en la gasificación - gases, la corriente volumétrica total de gases generada en cada caso (y también la velocidad del gas) en el lecho fluidizado está relacionada de manera directa con la producción de gas en la correspondiente zona 10 de reacción. Cuando varía el combustible sólido desde el punto de vista de su granulación (tamaño de las partículas), su contenido en agua y su poder calorífico y sus componentes volátiles, la previsión según el invento de reguladores de la circulación ajustables para el lecho fluidizado es la clave para una regulación definida con el objetivo de maximizar el contacto gas-material sólido y obtener tiempos máximos de permanencia. Esto es válido para la corriente de la fase de gas igual que para todos los movimientos de material sólido (material del lecho, aditivos, partículas de combustible). De esta manera se puede adaptar el sistema de reactores de lecho fluidizado según el invento a diferentes circunstancias, por ejemplo también a condiciones variables de los dos materiales de alimentación aportados en 16 y 19 sin tener que desconectar el sistema o incluso sin tener que modificar la magnitud de la fluidización. En el ejemplo de aplicación para la gasificación descrito más arriba se podría reaccionar a una variación de la relación del material de alimentación hacia cantidades mayores de material de alimentación en forma de partículas, como por ejemplo carbón o viruta de madera a través de la tubería 19, desplazando los dos reguladores 18 de la circulación inferiores ajustables de manera definida hacia el interior y los dos reguladores de la circulación superiores hacia el exterior, con lo que es posible adaptar la velocidad de circulación en estos puntos. Sencillas mediciones de la presión en toda la altura del reactor 2 pueden informar del ajuste óptimo. Como se mencionó anteriormente, en las zonas de reacción en las que desemboca la tubería 19 tiene lugar una producción de gas por descomposición del combustible sólido (es decir desgasificación de los componentes volátiles del combustible sólido). Como consecuencia se puede ajustar de manera definida en las zonas superiores la velocidad del gas dentro de las estrangulaciones de los reguladores de la circulación, para que no se produzca una extracción de partículas indeseadamente alta del reactor 2. Con el ajuste definido de los reguladores de la circulación inferiores se puede garantizar al mismo tiempo un tiempo de permanencia suficientemente grande de las partículas de combustible remanentes, que todavía deben ser gasificadas, en el interior del reactor 2. De ello resulta un contacto más intenso entre este material de alimentación y el material del lecho, lo en conjunto incrementa la realización completa de la reacción y con ello el rendimiento.

Si por el contrario, en las aplicaciones de combustión o de gasificación, la relación entre las dos corrientes de material de alimentación se desplaza en la dirección hacia el material de alimentación aportado a través de la tubería 16, por ejemplo un material de alimentación (es decir combustible) que se desgasifica con rapidez, se pueden ajustar los reguladores de la circulación de tal modo, que se obtenga una mezcla óptima de las partículas en las zonas de reacción situadas por encima para conseguir un contacto más íntimo de este material de alimentación con el material del lecho. Esto incrementa la eficiencia de las reacciones de gasificación, respectivamente de combustión y reduce en la gasificación los alquitranes formados, respectivamente reduce otras impurezas debidas al contacto íntimo con el material del lecho y con los aditivos. El sistema de reactores de lecho fluidizado según el invento con los reguladores de la circulación ajustables de manera definida es con ello mucho más flexible que los sistemas conocidos según el estado de la técnica. La adaptación definida de la forma geométrica del reactor por medio de los reguladores de la circulación con vistas a corrientes de gas distintas existentes localmente en la altura del reactor y ello directamente durante el funcionamiento del lecho fluidizado es el núcleo del invento. Al mismo tiempo, es posible reaccionar de manera directa e inmediata a una variación de la carga, que se produce debido a combustibles no homogéneos, como por ejemplo basura, y que en las instalaciones estándar siempre conducen de nuevo a problemas. Además, es posible una carga parcial pretendida de manera definida de lapa fluidizada, sin tener que

abandonar un punto óptimo de funcionamiento, ya que la forma geométrica del sistema de lecho fluidizado puede ser adaptada correspondientemente.

La figura 3 muestra otra forma de ejecución del sistema de reactores de lecho fluidizado del invento, que comprende en total tres reactores con los símbolos 1, 2 y 20 de referencia (los símbolos de referencia iguales equivalen nuevamente a elementos iguales, es decir análogos a las de las dos figuras descritas más arriba). Los reactores 1 y 2 son capas fluidizadas rápidamente, mientras que el reactor 20 representa un lecho fluidizado estacionaria formadora de burbujas y que se prolonga en la dirección de circulación entre el reactor 2 y el reactor 1 en el tercer reactor 20, mejor dicho el reactor 2 se prolonga en su extremo inferior en el tercer reactor 20. El lecho fluidizado en el reactor 20 es alimentada con ello con partículas del reactor 2, que a su vez circulan a través del separador 4 y de la tubería 8. Por medio de la tubería 17 de unión se conducen, respectivamente retornan las partículas al reactor 1.

La tubería 12 de gas sirve en este caso principalmente para la fluidización del reactor 20 estacionario, mientras que el reactor 2 es fluidizado predominantemente a través de la tubería 14 y con los gases generados en el reactor 20. Las partículas de combustible no tratadas de una manera completa (como por ejemplo los combustibles que se desgasifican o gasifican lentamente), que del reactor 2 caen en el reactor 20 tienen aquí nuevamente la posibilidad de ser transformadas, lo que significa un aumento del tiempo de permanencia.

Con el símbolo 29 de referencia se caracteriza una tubería de unión entre los reactores 1 y 2, que esencialmente sólo transporte gas, y que igualmente es el resultado de investigaciones anteriores de los inventores (véase el documento PCT/AT2011/000311) y que, por un lado, sirve para poder compaginar entre sí las condiciones de presión en estos dos reactores. Por otro lado, esta tubería 29 también tiene grandes ventajas, sobre todo en la utilización de este sistema de reactores de lecho fluidizado para reacciones de gasificación, ganando también continuamente en importancia en los últimos tiempos, junto a la gasificación clásica de carbón, la gasificación de biomasa. Para generar calor en un reactor de combustión o de aire (en este ejemplo el reactor 1) no es necesario, que se queme el gas a obtener con la forma más pura posible en el reactor de generación de gas (o también "reactor de combustible" o "reactor de gasificación", en este caso el reactor 2), sino que a través de la tubería 29 de unión se puede transferir gas bruto del reactor de generación de gas al reactor de combustión y ser utilizado para generar calor. Para no alterar el ciclo del material sólido del sistema de reactores de lecho fluidizado transporta esta tubería esencialmente sólo gas.

La tubería 29 desemboca por esta razón en la cabeza de un ensanchamiento vertical del reactor 2. De acuerdo con la definición hecha más arriba, un reactor de lecho fluidizado es caracterizado por exactamente un estado de fluidización. Con ello, el reactor 20 es limitado por la altura del lecho fluidizado estacionaria y no se extiende más allá de ella. Es más, por encima ya comienza la cámara de gas del reactor 2 con fluidización rápida. En el ensanchamiento vertical del reactor reina por ello una densidad inherentemente pequeña de partículas, por lo que la tubería 29 prácticamente no transporta partículas. Esto puede ser favorecido adicionalmente con elementos tales como filtros, separadores de ciclón o análogos.

La tubería 17 de partículas para el retorno de la corriente global de material sólido al reactor 1 desemboca en este caso lateralmente y desemboca desde abajo en el fondo del reactor 1, es decir, que las partículas transportadas en ella son transportadas por la fluidificación de la tubería 17 y por la fluidización 11 inferior del primer reactor de manera eficiente al reactor 1 y son arrastradas allí hacia arriba por la fluidización 13 en la cámara 9 del reactor.

Los reguladores de la circulación ajustables de manera definida según el presente invento son caracterizados nuevamente con el símbolo 18 de referencia y definen en este caso una forma de "zig-zag" del tubo del reactor, es decir, que alargan el camino de circulación del lecho fluidizado rápidamente a través del reactor 2 y subdividen el espacio interior del reactor nuevamente en zonas 10 de reacción. Con el símbolo 22 de referencia se caracteriza aquí la más inferior de las zonas de reacción desde la que las partículas del lecho fluidizado caen del reactor 2 al reactor 20 situado debajo.

Los reguladores 18 de la circulación ajustables también se representan en este ejemplo como correderas, pero podrían ser igualmente trampillas, rodillos o análogos, que cumplirían el mismo fin. Nuevamente, por medio del desplazamiento de los diferentes reguladores de la circulación hacia dentro o hacia fuera se puede gobernar la velocidad de circulación del lecho fluidizado en el punto de estrangulamiento y con ello la probabilidades de presencia de partículas por encima o por debajo de ello.

En la figura 4 se muestra una forma de ejecución alternativa preferida del sistema de reactores de lecho fluidizado según el invento. La separación de las partículas extraídas de las capas fluidizadas rápidamente tiene lugar en este caso en dos escalones: para el reactor 1 en los separadores 3 y 23 y para el reactor 2 en los separadores 4 y 24. De los dos separadores 23 y 24 adicionales se conducen las partículas a través de las tuberías 25, respectivamente 26 del reactor 1 a otro punto del reactor 2, que se halla más bajo que la desembocadura de la tubería 7, respectivamente directamente del reactor 2 al reactor 1, dejando de lado el reactor 20.

Los reguladores 18 de la circulación ajustables se representan aquí esquemáticamente como rodillos giratorios alrededor de un eje horizontal con una sección transversal vertical con la forma de un segmento circular (con un ángulo central $>180^\circ$), dispuestos por pares en lados enfrentados del reactor 2. Los rodillos están alojados siempre en ensanchamientos de la pared del reactor, que poseen una sección transversal tal, que para los rodillos exista una

posición en la que su superficie exterior plana está alineada esencialmente con la pared del reactor, es decir se halla en un plano. Sin embargo, si son girados reducen progresivamente la sección transversal de circulación para el lecho fluidizado y subdividen con ello la cámara del reactor nuevamente en zonas 10 de reacción, respectivamente en la zona 22 de reacción.

- 5 Para los reguladores de la circulación de esta clase "encamados" en ensanchamientos de la pared del reactor o también en escotaduras de una pared de reactor suficientemente gruesa con superficies lisas se prefiere - con independencia de que se trate de rodillos, trampillas u otros elementos - que los reguladores de la circulación cierren en aquella posición en la que no estrechan la sección transversal de circulación, a haces de la pared del reactor o queden alineados con ella, para hacer posible en el interior del reactor otras corrientes de gas no desviadas, como las que obtendrían en sistema de reactores de lecho fluidizado sin reguladores de la circulación ajustables de manera definida.

En la forma de ejecución representada en la figura 4 se provee el reactor 1 igualmente con reguladores 21 de la circulación ajustables de manera definida, que en este caso se construyen como correderas y subdividen la cámara del reactor en varias zonas 9 de reacción.

- 15 Las figuras 5a y 5b muestran vistas parciales de paredes de reactor con ensanchamientos en los que se alojan reguladores de la circulación, como los que también están contenidos en la forma de ejecución de la figura 4, es decir rodillos con una sección transversal vertical con la forma de un segmento circular con un ángulo central $>180^\circ$. Las dos figuras comprenden cada una tres imágenes mostrando en el centro una vista en sección transversal vertical de una parte de la pared del reactor, que comprende pares de estos reguladores de la circulación en diferentes posiciones. La imagen superior es una vista desde abajo del reactor y la imagen inferior es una vista en sección transversal horizontal a lo largo de la línea A-A, respectivamente B-B.

- La figura 5a muestra un reactor con sección transversal cuadrangular y la figura 5b uno con sección transversal circular, que en puntos correspondientes poseen ensanchamientos rectangulares para el alojamiento de los reguladores de la circulación. Los reguladores de la circulación son, como en la figura 4, pares de rodillos mutuamente enfrentados, que pueden ser girados de manera compaginada entre sí, por ejemplo con simetría de imagen como en la figura 5a, o independientemente entre sí, por ejemplo como en la figura 5b para modificar correspondientemente la sección transversal de circulación.

- Se comprende, que los reguladores de la circulación según el presente invento no tienen que ser previstos imprescindiblemente por pares, sino que, como es natural, también pueden ser utilizados individualmente. La utilización por pares tiene, sin embargo, la ventaja de que los reguladores de la circulación pueden poseer, en el caso de variaciones de posición compaginadas, dimensiones más pequeñas para producir un estrechamiento deseado de la sección transversal de circulación.

- La figura 6 muestra una vista parcial de otras tres formas de ejecución de un reactor de lecho fluidizado según el invento con reguladores de la circulación ajustables en diferentes posiciones. En la figura 6a se representan pares de trampillas dispuestas mutuamente enfrentadas basculables alrededor de un eje horizontales alojadas en cavidades correspondientes de la pared del reactor. Las figuras 6b y 6c muestran una combinación de reguladores de la circulación no ajustables conocidos con forma de abultamientos apareados de las pared del reactor y reguladores de la circulación ajustables de manera definida según el presente invento previstos siempre a la misma altura. La figura 6b muestra una forma de ejecución en la que entre un par de abultamientos se prevé una trampilla giratoria 360° alrededor de un eje horizontal, mientras que en la figura 6c están montados entre los abultamientos previstos por pares también pares de estas trampillas, pero con dimensiones más pequeñas en este caso. De esta representación se desprende nuevamente la ventaja mencionada más arriba de la previsión de pares de reguladores de la circulación ajustables compaginados mutuamente, es decir la posibilidad de reducir las dimensiones.

- En la figura 7 se representan pares de correderas mutuamente enfrentadas como reguladores de la circulación ajustables de manera definida en una pared de reactor. Las correderas se extienden cada una a en este caso a través de la pared del reactor, pero con preferencia también pueden estar alojadas en una pared correspondientemente gruesa del reactor o en un ensanchamiento correspondiente mismo ("incrustadas"), para que no sea necesario hermetizar la pared el reactor hacia fuera de manera costosa. Las figuras 7a y 7b muestran correderas, que cooperan con reguladores de la circulación conocidos no ajustables con la forma de abultamientos interiores de la pared del reactor. En la figura 7a se extiende una corredera horizontalmente a través de un abultamiento, mientras que en la figura 7b la corredera está prevista por encima de un abultamiento y forma, además, un ángulo agudo con la horizontal. En la figura 7 c se representan finalmente las mismas correderas que en la figura 7b, pero sin abultamientos de la pared del reactor.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de reactores de lecho fluidizado, que comprende uno o varios reactores (1, 2, 20) de lecho fluidizado para la realización de reacciones químicas o físicas, del que al menos un reactor se configura como reactor con fluidización rápida para el funcionamiento como lecho fluidizado en circulación y que en el extremo superior comprende una salida (5, 6) de fluido, un separador (3, 4) de partículas y una tubería (7, 8) de partículas para el retorno de las partículas del lecho fluidizado separadas al mismo o comprende un reactor adicional, estando previstos en al menos un reactor con fluidización rápida uno o varios reguladores (18, 21) de la circulación para crear en el interior zonas (9, 10, 22) de reacción separadas entre sí, caracterizado porque para la regulación de las condiciones de circulación en las zonas (9, 10, 22) de reacción uno o varios de los reguladores de la circulación (18, 21) pueden ser ajustados de manera definida desde el exterior del sistema.
2. Sistema de reactores de lecho fluidizado según la reivindicación 1, caracterizado porque la superficie horizontal de la sección transversal del reactor a la altura de un regulador de la circulación (18, 21) ajustable de manera definida puede ser modificada por ajuste de este regulador de la circulación.
3. Sistema de reactores de lecho fluidizado según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque al menos una de los reguladores de la circulación ajustables de manera definida puede ser ajustado manualmente.
4. Sistema de reactores de lecho fluidizado según la reivindicación 1 ó 2, o cuando existan más de un regulador de la circulación ajustable de manera definida, según la reivindicación 3, caracterizado porque al menos uno de los reguladores de la circulación ajustables de manera definida es accionado con un motor.
5. Sistema de reactores de lecho fluidizado según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los reguladores de la circulación ajustables de manera definida están montados en o en el interior de la correspondiente pared del reactor de manera, giratoria, basculable o desplazable.
6. Sistema de reactores de lecho fluidizado según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se prevén tanto reguladores (18, 21) de la circulación ajustables de manera definida, como también reguladores de la circulación montados de manera fija.
7. Sistema de reactores de lecho fluidizado según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque comprende al menos dos reactores (1, 2) configurados ambos como reactores con fluidización rápida, uniendo una tubería (7) de partículas el separador (3) de partículas del primer reactor (1) con el segundo reactor (2), retomando una tubería (8) de partículas del separador (4) de partículas del segundo reactor (2) al segundo reactor (2) y una tubería (17) de partículas retorna al primer reactor, estando previstos al menos en el segundo reactor (2) uno o varios reguladores de la circulación ajustables de manera definida.
8. Sistema de reactores de lecho fluidizado según la reivindicación 7, caracterizado porque en cada uno de los dos reactores (1, 2) se prevén uno o varios reguladores de la circulación ajustables de manera definida.
9. Sistema de reactores de lecho fluidizado según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque al menos una tubería (7, 8) de partículas desemboca en el correspondiente reactor por encima de al menos un regulador (18, 21) de la circulación.
10. Sistema de reactores de lecho fluidizado según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque dos de los reactores están unidos entre sí adicionalmente por una tubería (29), que esencialmente sólo transporta gas.

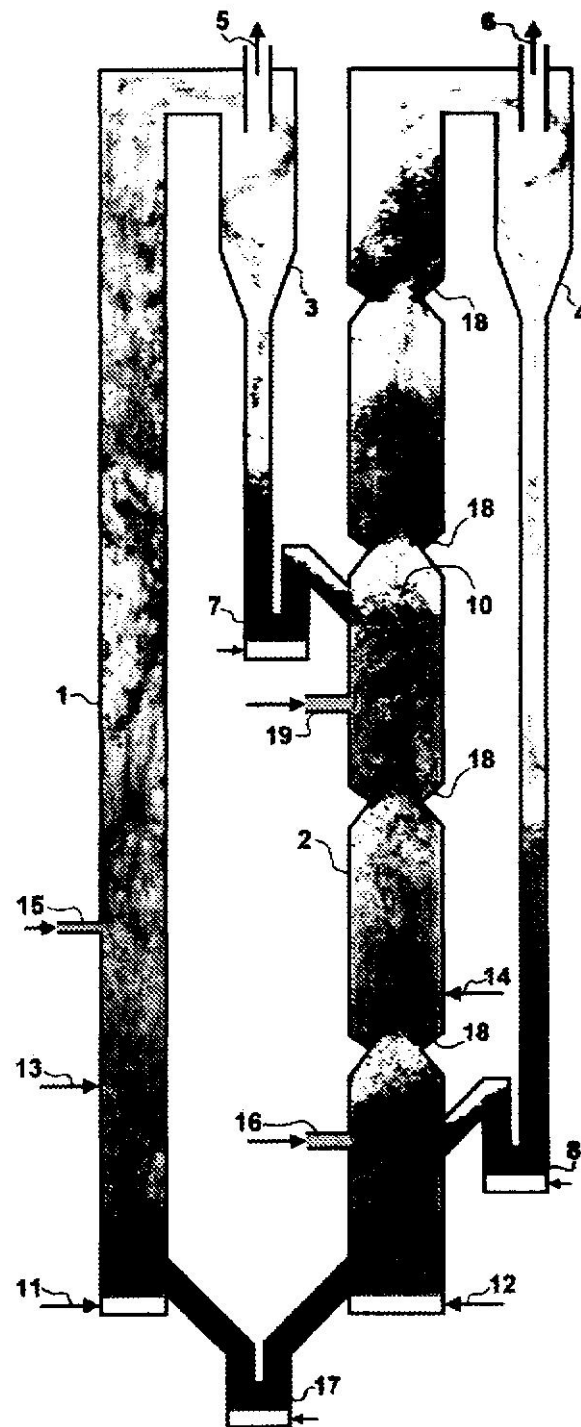


Figura 1

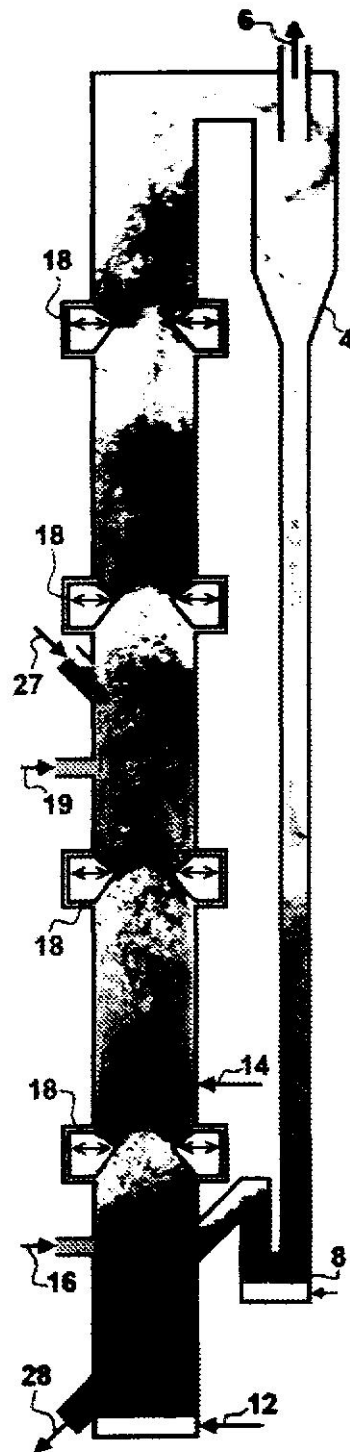


Figura 2

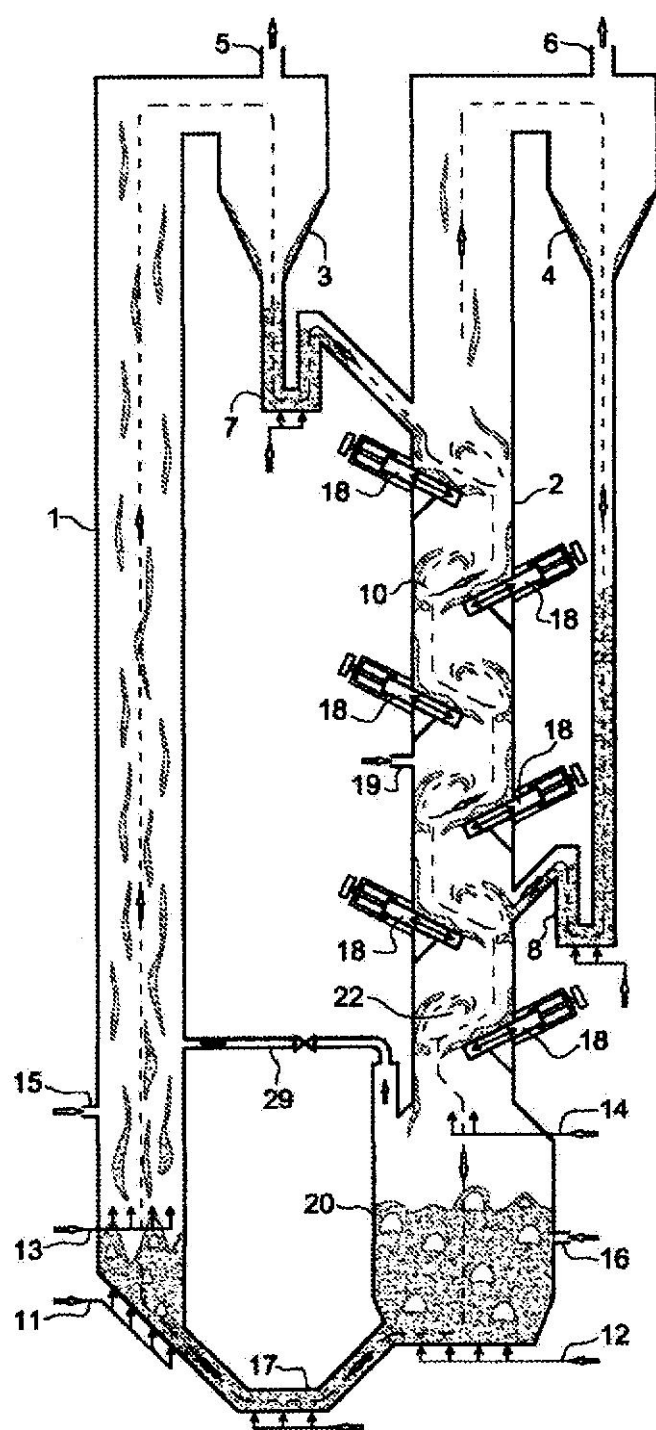


Figura 3

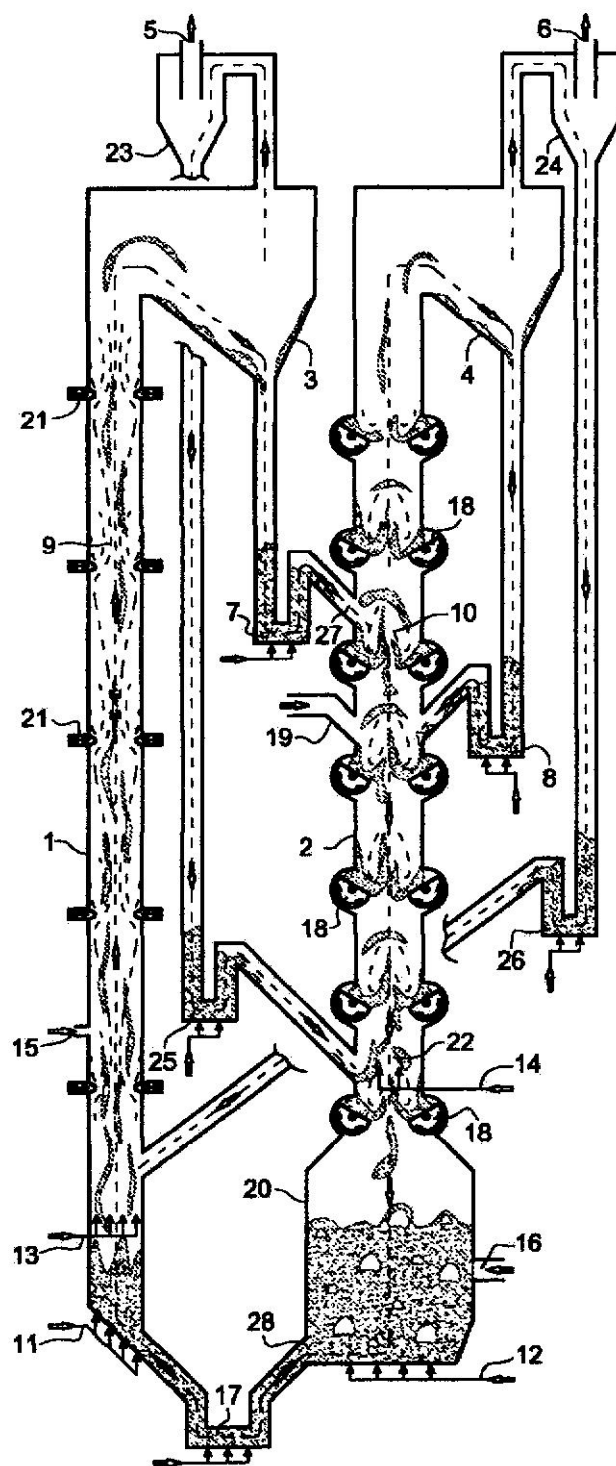


Figura 4

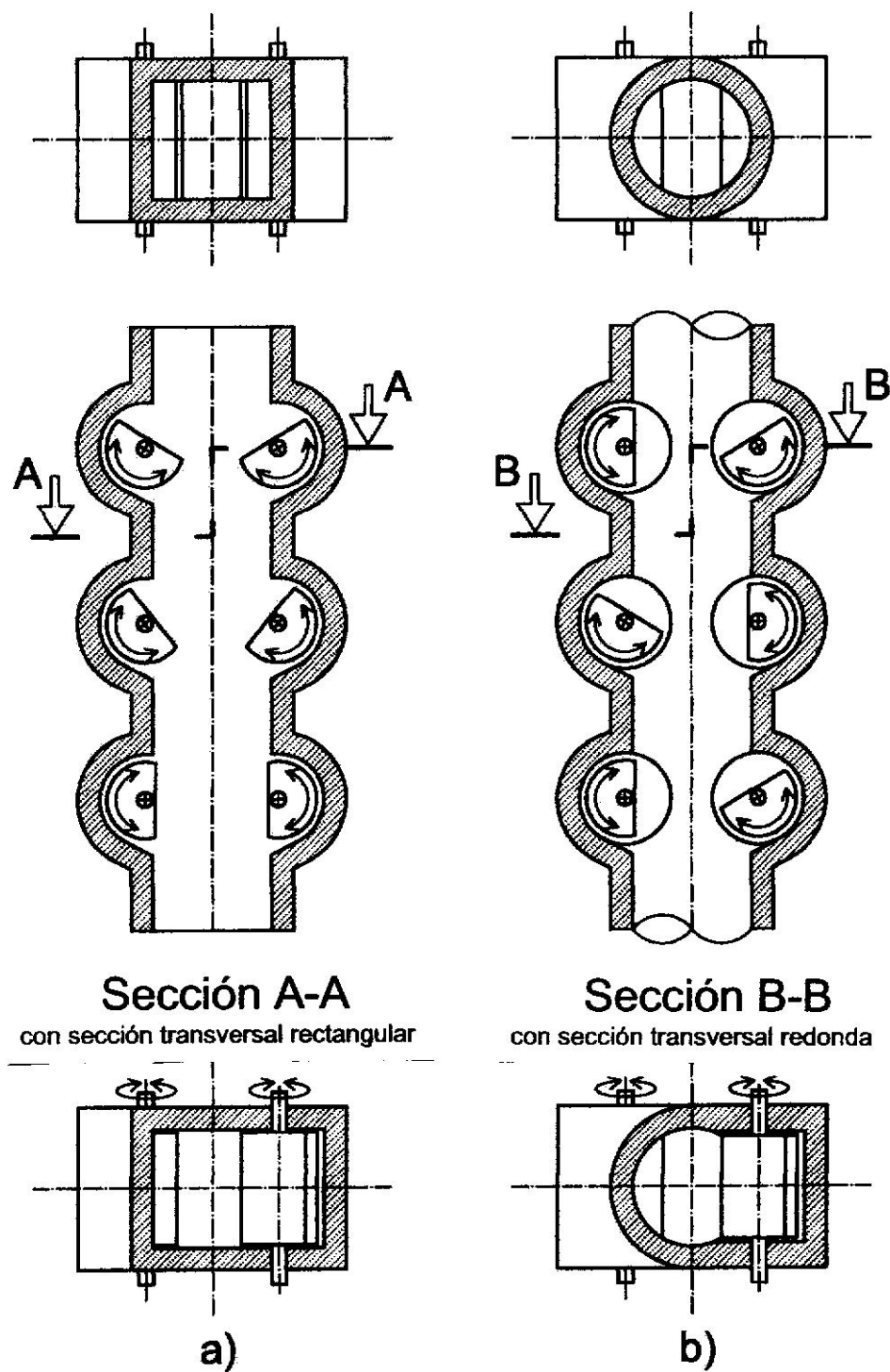


Figura 5

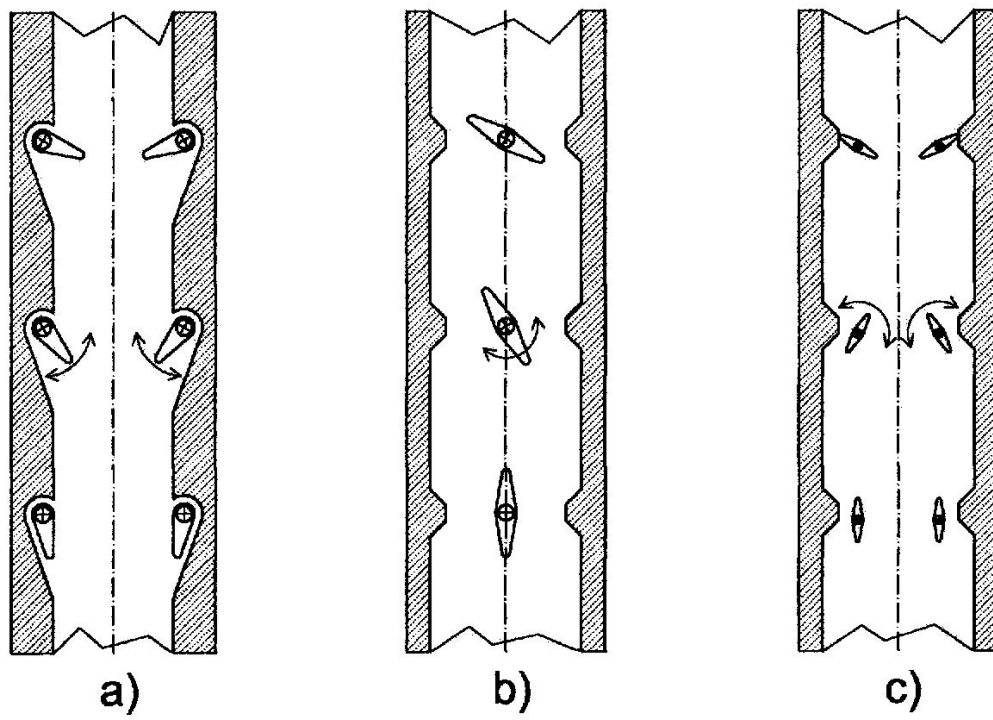


Figura 6

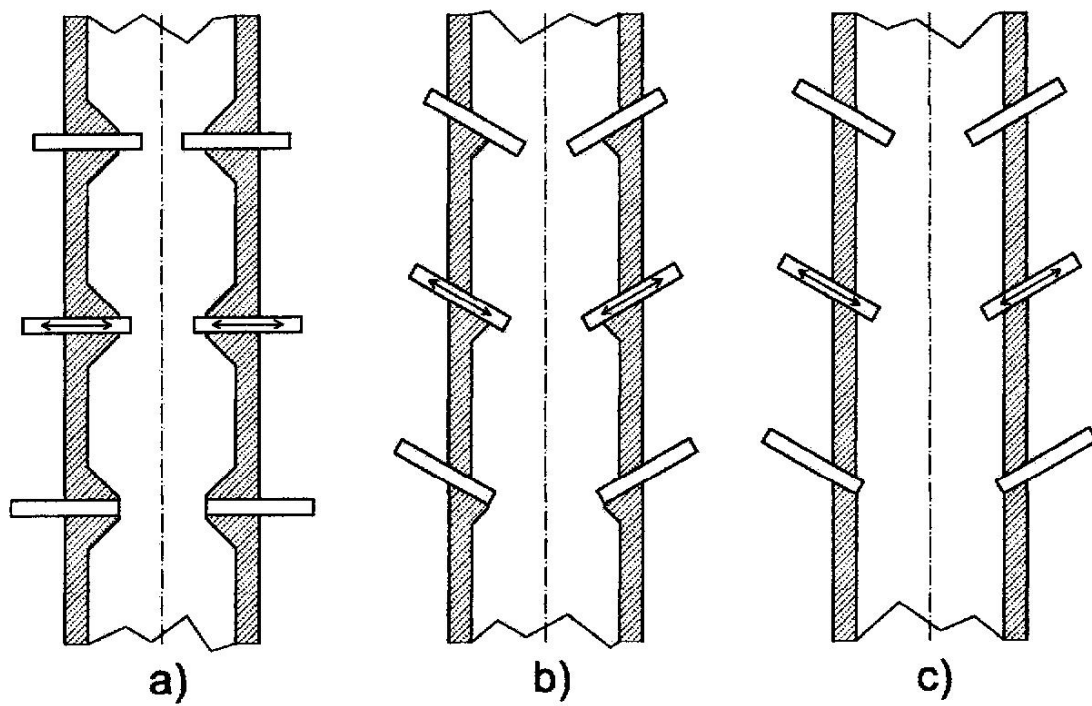


Figura 7