



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 318 457**

51 Int. Cl.:
B01F 5/06 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05708736 .3**
96 Fecha de presentación : **14.02.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1720643**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.11.2006**

54 Título: **Mezclador en red y proceso de mezcla relacionado.**

30 Prioridad: **13.02.2004 PT 10307204**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2009

73 Titular/es: **Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n
4200-465 Porto, PT
José Carlos Brito Lopes**

72 Inventor/es: **Brito Lopes, José Carlos;
Miranda Dos Santos da Costa Laranjeira, Paulo E.;
Gomes Queiroz Dias, Madalena Maria y
Areosa Martins, António Augusto**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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

Mezclador en red y proceso de mezcla relacionado.

5 **Ámbito técnico/aplicaciones**

El objeto de la presente invención consiste en un novedoso dispositivo mezclador estático para mezclar líquidos de modo continuo, así como el proceso de mezcla asociado, con especial interés en la aplicación de reacciones químicas con problemas de conversión y de selectividad. Los dispositivos de este tipo presentan diversas aplicaciones para la fabricación en las industrias química, biológica y farmacéutica. Entre los ejemplos que encontramos se destacan los siguientes: reacciones de polimerización, para instaurar un control más estricto de las distribuciones de pesos moleculares, reacciones de precipitación, para obtener una manipulación más rigurosa de los tamaños de los cristales, en las reacciones de oxidación, ya que permite controlar las etapas de reacción para poder lograr un control eficaz de la selectividad de los productos deseados, y en reacciones catalíticas extremadamente exotérmicas, potencialmente explosivas, lo que permite un control eficaz y seguro de la temperatura de reacción durante el proceso reactivo.

Estado de la técnica

El modo concreto en el que los diferentes flujos se mezclan es, en la gran mayoría de los casos industriales, el factor principal de la eficacia del funcionamiento de los aparatos mezcladores, y adquieren especial importancia los procesos en los que se producen reacciones químicas. En los procesos industriales, la eficacia de la mezcla y el control de la calidad de las mezclas pueden llegar a tener múltiples repercusiones económicas. Estos derivan del ahorro en reactantes o del impacto ambiental asociado a la reducción del consumo energético. Es posible analizar más características positivas adicionales, concretamente el hecho de mejorar el grado de control del proceso, aumentar la seguridad del funcionamiento y reducir las inversiones en equipamiento, todos ellos factores fundamentales para aumentar los ingresos globales del proceso (Hendershot, 2000; Keller and Bryan, 2000).

La comprensión de los fenómenos de mezcla es difícil, y los conocimientos actuales sobre ellos siguen siendo incompletos. De hecho, el diseño actual de las unidades de procesamiento implicadas en la mezcla se basa fundamentalmente en presuposiciones simplificadas de que el comportamiento de estas unidades se aproxima bien al límite de la mezcla perfecta, o bien a la segregación completa. Cuando no se puede describir la mezcla mediante estos casos extremos, surge la necesidad de emplear modelos de mezcla heurísticos mucho más elaborados basados en datos experimentales o en descripciones cualitativas del comportamiento de las unidades de procesamiento (Levenspiel and Bischoff, 1972; Villermaux, 1993).

Los mecanismos de mezcla existentes en las unidades de procesamiento se ven determinados por la hidrodinámica y la estructura geométrica. A pesar de la sencillez del funcionamiento, la mayoría de los mezcladores empleados actualmente no permiten realizar una mezcla rápida ni mezclas homogéneas a nivel microscópico (Ehrfeld and Hessel, 2000; Schwalbe *et al.*, 2002).

Más recientemente, los nuevos aparatos mezcladores más complejos, basados en estructuras normales inmóviles, se están introduciendo en la industria, lo que permite un mayor control de la mezcla, la realización de un diseño más riguroso y la implantación de estrategias de procesamiento más versátiles.

En la bibliografía se han descrito diferentes aplicaciones, y presentan ventajas significativas con respecto a las estructuras empleadas tradicionalmente en la industria.

- Las estructuras monolíticas, ya implantadas a gran escala en la industria, se están aplicando en gran medida en la actualidad para los dispositivos de evacuación de los gases producidos en la combustión que tiene lugar en los automóviles a modo de convertidor catalítico. Se ha propuesto también emplear reactores de este tipo en otras unidades de procesamiento, cuyos ejemplos podemos encontrar en Cybulski and Moulijn (1998). No obstante, las estructuras monolíticas no pueden emplearse cuando se pretende obtener una mezcla intensa entre varios reactantes. Dullien (2002) sugirió emplear estructuras monolíticas, con una estructura modificada similar a una red tridimensional en las que la mezcla de líquidos tendría lugar en las intersecciones de los canales, en las cuales el canal y la distribución espacial podrían estar diseñados en función de los objetivos que se desean obtener con el reactor. Sin embargo, las estructuras monolíticas ofrecen una reducida flexibilidad en cuanto a su concepción, concretamente cuando se pretende que la red de canales varíe, especialmente en cuanto a la dirección del flujo que transcurre por ellos. Por otro lado, al tener lugar la mezcla en las pseudocámaras como consecuencia exclusiva de la intersección de los canales, no es posible diseñar pseudocámaras autónomas propiamente dichas con respecto a los canales correspondientes. Así, dichas cámaras no existen de forma independiente, lo que en cierto modo las limita.

- Otra aplicación de uso cada vez más generalizado es el uso de estructuras de mezcla complejas que consisten en utilizar barreras de flujo estático que fomentan la mezcla de los diversos flujos. Entre los ejemplos de estos mezcladores estáticos, que se emplean con profusión, podemos incluir las “capas estructuradas” de Sulzer Chemtech®. Aun así, su aplicación en unidades de gran tamaño en las que se llevan a cabo reacciones químicas ha sido bastante reducida por causa de los elevados costes del equipamiento, por las dificultades a la hora de controlar su funcionamiento y por su escasa flexibilidad.

• La creciente y reciente importancia de la intensificación de los procesos y la reducción del tamaño de los aparatos ha dado lugar a la propuesta de crear nuevos mezcladores en miniatura, concretamente los microrreactores y los sistemas microfluidicos (Ehrfeld *et al.*, 1999; Ehrfeld and Hessel, 2000; Jensen, 1999 y 2001). Sin embargo, y a pesar de los avances en la construcción de estos tipos de unidades, su fabricación sigue siendo compleja, y por culpa de los elevados costes asociados, su uso en muchos casos prácticos sigue siendo enormemente escaso. Concretamente, gracias a la patente EP1185359 conocemos un microrreactor que posee una o más placas (20), cada una de ellas con un mínimo de dos celdas (30), que constan de una cámara preparada (33) para uno de los líquidos y con un mínimo de dos zonas (32) en las que se lleva a cabo una multilaminación independiente, aunque interestratificada, de ambos líquidos, de modo que estos, una vez introducidos en las ranuras (37) -que se encuentran sobre las zonas mencionadas- se mezclan entre ellos mismos, favorecidos por un área de contacto notablemente aumentada por la multilaminación y la intercalación precedentes de los líquidos introducidos. La mezcla de los líquidos en las ranuras (37) se lleva a cabo mediante un flujo laminar, exclusivamente por difusión, aumentando así el área de contacto que deriva del paso previo por la placa incluida a tal efecto (20). En una realización concreta, que se corresponde con la figura 2 de la patente mencionada, se describe un aparato con dos placas (20) organizadas en serie (teniendo en cuenta la dirección del flujo) para mezclar un tercer líquido. Sin embargo, el tercer líquido sólo se puede introducir en el flujo una vez completada la mezcla de los dos primeros líquidos. De hecho, antes de entrar en la segunda placa (20), el flujo derivado de la mezcla de los dos primeros líquidos en la primera placa (20) se acumula previamente en la cámara colectora (39).

• En las patentes WO02/096543 y US2004/014967 A1 se describe un micromezclador conforme al preámbulo de la reivindicación número 1, que posee varias unidades de distribución (10) dispuestas en capas, cada una de ellas provista de orificios de entrada (11) y de salida (12), y los de entrada (11) se conectan con los orificios de salida (12) de diferentes unidades de distribución (19) de la capa inmediatamente anterior. De este modo se produce una multilaminación de los líquidos, con el consecuente aumento del área de contacto entre los líquidos.

• En la patente EP 1036588 se describe un aparato mezclador estático que está formado por un conjunto de elementos contiguos en forma de placas (3, 4), y en cada uno de los mencionados elementos existen varios huecos o cavidades (11, 11', 14) que se extienden a lo largo del mismo; cada uno de los huecos o cavidades situados en uno de los elementos (3, 4) se comunica con varias cavidades situadas en cada elemento adyacente (3, 4), lo que proporciona una vía de circulación notable a través del conjunto para el material que está en circulación, mediante la cual el material se separa repetidamente y se mezcla a medida que fluye por todo el conjunto.

• En la patente EP 1134020 se muestra otro mezclador estático. Al igual que en el caso anterior, existen cámaras de mezcla (8, 13) en el interior de unas piezas (2, 3) que se comprimen entre ellas. Las cámaras de mezcla se distribuyen de forma periférica, radial y concéntrica y cada una se comunica directamente con la siguiente al aplicarse una tensión de cizalladura al flujo.

El material líquido circula desde una abertura central (5) practicada en las piezas del elemento mezclador (2, 3) y en la dirección de un radio, las cámaras de mezcla yuxtapuestas de las filas adyacentes pueden comunicarse entre ellas y se aplica una tensión de cizalladura con la inclusión de una partición o escalón para ejercer una acción de dispersión con la que se logra una mezcla uniforme y finamente dividida.

En vista de lo indicado, queda verificado el interés en poder disponer de dispositivos o procesos que aumenten la eficacia y el control de la mezcla, especialmente en los casos en los que existe una reacción y, en concreto, en el caso en que además de los mecanismos de mezcla por difusión, también existen mecanismos de mezcla convectivos. Lo mismo ocurre con los dispositivos o procesos en los que es posible unir la eficacia y el control de las mezclas o reacciones con la posibilidad de añadir más de dos líquidos con una gran flexibilidad, concretamente mediante la mezcla de un líquido adicional con el flujo en cualquier etapa de la mezcla o reacción del flujo que ya se encuentra en circulación, especialmente en una etapa en la que la/s mezcla/s o reacción/es no se ha/han completado.

Descripción de la invención

El mezclador, conforme a la invención, es el resultado de la investigación y el desarrollo llevados a cabo en la Escola de Engenharia da Universidade do Porto, entre 1999 y 2004, con el objetivo de investigar los mecanismos de mezcla en los reactores químicos. Esta investigación ha demostrado con rotundidad la posibilidad de facilitar potentes mecanismos convectivos de mezcla en estructuras en red normales formadas por asociaciones de canales y cámaras individuales dispuestas en un patrón regular.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es ofrecer un dispositivo de mezcla conforme a lo descrito en la reivindicación 1, el mezclador en red, para implantar el control de la calidad de mezcla y para controlar la conversión y la selectividad de la reacción. En el mezclador descrito en la invención, el control sobre esos factores se facilita mediante realizaciones concretas de diseños de mezcla en el interior del dispositivo, y también gracias a la versatilidad inherente del dispositivo para implantar diferentes esquemas de alimentación previos a la mezcla. El propósito final es permitir la producción de mezclas en el canal de salida del mezclador con las características deseadas, controlando los pasos de la mezcla, o la conversión de la mezcla y la selectividad en el caso de los líquidos que reaccionan, a lo largo del aparato. Otro objeto de la presente invención es ofrecer un dispositivo de mezcla en el que la estructura particular del diseño del mezclador permitirá llevar a cabo un control eficaz de la evolución de la temperatura incorporando el área específica necesaria para la transmisión del calor. Concretamente, se pretende evitar limitar el mezclador y el proceso a la simple mezcla/reacción por mecanismos de difusión, y habilitando y fomentando en cambio la intervención de

mecanismos de mezcla convectiva. También se pretende disponer de una gran versatilidad en la inyección/expulsión que puede llevarse a cabo en los diversos pasos de la mezcla/reacción que el flujo soporta, incluso en situaciones en las que la mezcla/reacción ya se esté dando.

En conformidad con la invención, los objetivos descritos anteriormente se logran diseñando el mezclador como una red de celdas básicas compuestas cada una de los siguientes elementos: una cámara independiente, un mínimo de dos canales conectados con la cámara anteriormente mencionada, y por lo menos dos de ellos oblicuos en relación a la dirección resultante del flujo en el mezclador, además de como mínimo dos aberturas adicionales que conectan el interior de la cámara con el exterior de la celda particular para poder conectarla con canales externos. En última instancia, el mezclador en red se concibe interconectando de forma secuencial las llamadas celdas básicas en un espacio bidimensional o tridimensional.

La presente invención es un mezclador estático sin partes móviles, en el cual pueden darse reacciones químicas o no.

La suma de los efectos de mezcla a nivel local que tienen lugar a lo largo de las celdas interconectadas que forman una red permite, a medida que la mezcla de líquidos avanza en la dirección del flujo, realzar la eficacia de la mezcla, incluso sin emplear partes móviles.

De hecho, la existencia de dos canales con una disposición oblicua con respecto a la dirección resultante del flujo en el mezclador permite que se presenten mecanismos convectivos de mezcla/reacción que, de este modo, pueden añadirse a los mecanismos de difusión que también están presentes en el aparato. En realidad, cada una de las corrientes salientes de cada célula transportará material de las diversas corrientes de entrada. La mezcla se intensifica a medida que el flujo entra y sale de cada línea sucesiva de celdas. No obstante, este método no consiste simplemente en yuxtaponer las celdas en serie, ya que con la disposición en red diseñada se logra un efecto mixto de distribución en serie y en paralelo. En concreto, se evita reunir todo el flujo en una cámara colectora general tras una etapa de mezcla/reacción y antes de pasar a la siguiente etapa, la recolección final típica de los aparatos en los que las celdas simplemente se ubican en serie. Por otro lado, entre el total de las celdas en serie existen, a cada paso, diversos conjuntos particulares de celdas en los que se dan diferentes pasos de mezcla/reacción, por oposición a la situación de las celdas ubicadas en una configuración puramente paralela gracias a la cual, en cada momento, todas las celdas se encuentran en la misma etapa de mezcla/reacción.

En una realización preferida de esta invención, las cámaras son elementos esféricos individuales e independientes y los canales son cilíndricos, con dos o tres de ellos en cada celda básica, y también presentarán el mismo número de aberturas para conectar cada cámara con canales externos.

En otra realización preferida alternativa de esta invención, las cámaras independientes son cilindros con un eje perpendicular con respecto al plano del mezclador en red, y los canales, igualmente dos o tres por cámara, son prismas rectangulares que se extienden a lo largo de toda la altura de la superficie cilíndrica y en el plano del mezclador, y se mantienen las aberturas anteriormente mencionadas. Conforme a una realización concreta de esta invención, las celdas básicas interconectadas sucesivamente presentan, en todas o en algunas de ellas, diferentes dimensiones lineales o angulares de sus elementos característicos, lo que confieren al mezclador una gran versatilidad. Específicamente, las celdas básicas pueden combinarse de acuerdo con cualquiera de las realizaciones preferidas indicadas con anterioridad.

En otra realización preferida de esta invención, en cada celda básica la inyección de las corrientes de alimentación se lleva a cabo en la cámara independiente correspondiente mediante canales cuyos ejes coinciden con los de los canales asociados a esa cámara, a partir de los cuales se da a su vez la expulsión de las corrientes mezcladas en el interior de esa cámara particular.

La inyección y la expulsión que acabamos de mencionar, en relación con la celda básica, puede coincidir o no con la inyección o la expulsión del mezclador en red con respecto a su exterior. De hecho, por poner un ejemplo, si la expulsión de la cámara independiente de una celda básica, mediante los canales asociados correspondientes, tiene lugar exclusivamente en el interior de la red de mezcla y se dirige hacia otras celdas unitarias conectadas a dicha celda, por lo que no significa que se produzca una expulsión hacia el exterior, sino más bien la base de la inyección (en el interior del mezclador en red) a las mencionadas celdas unitarias ulteriores que se encuentran interconectadas con esa celda.

Conforme a la invención, pueden existir otras estructuras para las celdas básicas específicas, y estas serán denominadas celdas particulares como contraposición a las celdas básicas anteriormente mentadas.

En las celdas particulares siempre está presente la cámara independiente característica de las celdas básicas. Una célula particular puede ser concebida como el resultado de una célula básica eliminando uno o dos de los canales asociados a la cámara independiente, eliminando una o más de las aberturas que permiten la conexión de la cámara con el exterior, añadiendo otras aberturas o canales, o combinando dos o más de estas posibilidades.

También se consideran algunas estructuras aplicadas a celdas particulares en las cuales los canales de inyección se ubican de una forma especial.

Las celdas particulares son especialmente importantes para las zonas fronterizas entre el aparato de mezcla y el exterior, concretamente en las celdas que se corresponden con la primera y la última fila de la red, así como las que pertenecen a sus columnas de celdas laterales. Estas celdas también son particularmente útiles para la inyección o la expulsión (hacia la unidad de mezcla y desde ella, respectivamente) cuando se encuentran a medio camino de la vía de circulación del mezclador en red.

Además, otro objeto de esta invención se corresponde con la creación de un proceso de mezcla de especies químicas en forma de flujo continuo conforme a la reivindicación 9, que se caracteriza por hacer pasar una o más de dichas especies a través de un mezclador en red en conformidad con la invención.

El modo de mezcla de las diferentes especies puede ser diverso, especialmente mediante la variación de los puntos de inyección o expulsión de las diferentes especies o de sus mezclas parciales a partir del exterior del dispositivo, empleando finalmente las celdas particulares mencionadas con anterioridad.

El rendimiento eficaz de este tipo de mezclador y el proceso asociado permite reducir los costes de la separación de los productos que no han reaccionado, los secundarios y los deseados, con la intensificación consecuente de los procesos en los que se incluyen (Stankiewicz and Mouljin, 2000). Es posible tener en cuenta criterios importantes, como el desarrollo de nuevos procesos, el análisis de nuevos esquemas operativos o reactivos, los aumentos a escala y la seguridad del funcionamiento de forma rápida y eficaz, con evidentes ventajas económicas.

Otros factores, como un conocimiento más profundo de la invención y el proceso y cualquier ventaja adicional y los objetos de la invención, se harán patentes ante los ojos de las personas especializadas en estos aparatos tras consultar la descripción detallada de la invención y las ilustraciones que acompañan a la misma.

Descripción breve de las ilustraciones

Las figuras anexas, presentadas como ejemplos sin pretensión de limitar de forma alguna la estructura, ilustran la unidad de mezcla tras la referencia, basada en algunas de las realizaciones indicadas anteriormente, especialmente las que se corresponden con un mezclador en red planar (o bidimensional). Así:

Figura 1: Representación esquemática de una celda básica del mezclador en red, con los siguientes componentes: una cámara independiente, tres canales conectados con la cámara y tres aberturas adicionales para conectar el interior de la cámara con el exterior de la celda.

Figura 2: Representación esquemática parcial de un mezclador en red creado mediante la interconexión de celdas básicas iguales conforme a la figura 1 en dos direcciones.

Figura 3: Representación esquemática parcial de un mezclador en red creado mediante la interconexión, en un plano, de celdas básicas iguales con solo dos canales en lugar de tres.

Figura 4: Representación esquemática parcial de un mezclador en red creado mediante la interconexión, en un plano, de celdas básicas con dos canales y diferentes tamaños de los elementos característicos que lo componen.

Figura 5: Representación esquemática de una celda particular del mezclador en red con los siguientes componentes: una cámara independiente, tres canales conectados a la cámara y dos canales de inyección externos conectados a un número idéntico de aberturas de la cámara.

Figura 6: Representación esquemática de una celda particular del mezclador en red con los siguientes componentes: una cámara independiente, tres canales conectados a la cámara y dos canales de inyección externos atípicos conectados perpendicularmente al plano del mezclador en red.

Figura 7: Representación esquemática de una celda básica del mezclador en red, con los siguientes componentes: una cámara cilíndrica individual con un eje perpendicular al plano del dispositivo de mezcla y tres canales prismáticos con una sección rectangular que se extiende a lo largo de toda la altura de la superficie cilíndrica de la cámara.

Descripción detallada de la realización preferida

A continuación se presenta una descripción detallada de la invención basada en las figuras anteriormente indicadas, en las cuales se hace referencia a los diversos elementos, que son los siguientes:

0 - aberturas que conectan el interior de la cámara con el exterior de la celda respectiva.

1 - cámara independiente de cada célula básica que conforma el mezclador en red.

2 - canales de cada célula básica que permiten la conexión entre celdas y comunican con el interior de la cámara de la celda básica.

3 - inyectoros externos.

ES 2 318 457 T3

x - dirección normal del flujo principal en el interior del mezclador en red.

y - dirección ortogonal con respecto a la dirección del flujo principal en el interior del mezclador en red.

5 ϕ - ángulo formado por el eje de un canal conector de una celda básica y la dirección x .

La presente invención es un mezclador en red, con reacciones químicas en su interior o sin ellas, para una corriente de alimentación o más, con el propósito de crear un nuevo producto.

10 El mezclador en red, según la presente invención, presenta diferentes modos de funcionamiento para poder obtener el producto deseado.

En una realización de la invención, el mezclador en red está formado por un conjunto de elementos, cámaras y canales de geometría simple: con esferas, que poseen el diámetro D_j , y cilindros, caracterizados por la longitud l_i y el diámetro d_j , respectivamente.

20 Las esferas y los cilindros se encuentran asociados, conforme a la figura 1, en una celda básica formada por una cámara (1) y tres canales (2), además de tres aberturas (0), con uno de los canales ubicados en posición transversal con respecto a la dirección del flujo principal, y los otros dos canales formando un ángulo, ϕ , con el canal perpendicular con respecto al canal transversal. Todos los cilindros están situados en el mismo plano, como se indica en la figura 1.

El mezclador en red se crea mediante la conexión de un conjunto de celdas básicas en dos direcciones espaciales, por lo que se forma una geometría planar como la que se muestra en la figura 2. De este modo, el número máximo de cilindros que pueden estar asociados es de seis, en el mismo plano, a una esfera, como se describe también en la figura 2.

30 La posibilidad de emplear diferentes tipos de celdas unitarias también se ha propuesto, siendo variada la forma en que los elementos se conectan entre sí, concretamente el número de cilindros conectados con cada esfera o el ángulo ϕ . En la figura 3 se presenta un ejemplo con apenas dos cilindros conectados a la esfera.

En esta invención también se propone que no es necesario que cualquiera de las dimensiones características tenga un tamaño uniforme, por lo que se podrían crear mezcladores con distribuciones de tamaños de sus elementos característicos. En la figura 4 se puede observar un ejemplo de este tipo de mezclador.

35 En cuanto a los inyectores (3) para alimentar el mezclador, en una realización concreta se encuentran dispuestos en el mismo plano de los cilindros asociados restantes (2), y de modo que sus centros coinciden con los centros de los cilindros restantes mencionados, como se indica en la figura 5.

40 También se ha propuesto, en el caso de los inyectores, la posibilidad de disponerlos de diferentes maneras con respecto a los elementos cilíndricos, a los cuales se hará referencia con el nombre de inyectores atípicos (3). Un ejemplo es el empleo de inyectores atípicos diametralmente opuestos en un plano perpendicular con respecto a uno de los cilindros asociados a la esfera en la cual están situados los inyectores (3), como se indica en la figura 6.

45 Se ha planteado la posibilidad de asociar los inyectores con los inyectores atípicos, en la misma esfera, para poder permitir, por poner un ejemplo, cuatro inyecciones de diferentes corrientes de forma simultánea.

También se ha apuntado la posibilidad de que el mezclador en red posea inyectores suplementarios a lo largo de su estructura, dispuestos de forma organizada o no, con el objetivo de añadir gradualmente uno o más reactantes durante el transcurso de la reacción química.

50 En cuanto a los canales de salida del mezclador en red, están organizados en el mismo plano de los cilindros restantes asociados a la esfera en la que se sitúan los canales de salida, y para que sus centros coincidan con los de los cilindros restantes.

55 La posibilidad de emplear orificios de salida atípicos diametralmente opuestos también se ha indicado en el caso de los orificios de salida, y en un plano perpendicular con respecto a uno de los cilindros asociados a la esfera en la que se encuentran situados los mencionados orificios.

60 También se ha propuesto la posibilidad de incluir en el mezclador en red orificios de salida suplementarios a lo largo de su estructura, dispuestos de forma organizada o no, con el propósito de extraer gradualmente los productos.

También se ha apuntado la existencia de una geometría alternativa a la geometría planar del mezclador en red, en la cual las celdas básicas se disponen en una estructura tridimensional.

65 Otra geometría alternativa de los elementos característicos del mezclador en red sería crear canales prismáticos rectangulares y cámaras cilíndricas con un eje perpendicular con respecto al plano del mezclador en red. Los canales se extienden a lo largo de toda la superficie cilíndrica de las cámaras cilíndricas, como se muestra en la figura 7. En este último caso, las aberturas (0) y los canales de salida (2) también poseen una geometría prismática rectangular, y

se extienden a lo largo de toda la superficie cilíndrica de las cámaras cilíndricas (1). Las consideraciones anteriores, ya sea en cuanto a la geometría o a la disposición de los inyectores atípicos y suplementarios, y también en cuanto a los canales de salida atípicos y suplementarios, se mantienen.

5

Innovación y ventajas de la invención

Las ventajas más significativas de la invención, en comparación con otros mezcladores, son las siguientes:

10

- La estructura del mezclador en red es notablemente más sencilla que las estructuras propuestas y comercializadas en la actualidad.

- El mezclador en red no contiene ningún elemento móvil.

15

- La posibilidad de realizar una mezcla intensa y eficaz de los flujos de líquidos que, en los casos de reacciones en los que la mezcla se limita a mecanismos de difusión, pasa a ser un factor primordial en las reacciones complejas en la fase líquida.

20

- La posibilidad de añadir fácilmente sensores de temperatura, de presión o de concentración sin tener que modificar las características hidrodinámicas del mezclador en red.

25

- Las características dimensionales del mezclador en red descrito proporcionan un área altamente específica para el intercambio térmico. Esta característica puede emplearse para controlar la temperatura de forma eficaz, al igual que en las reacciones intensamente endotérmicas o exotérmicas, o cuando la selectividad depende fundamentalmente del régimen de funcionamiento.

- La facilidad de implantación de diferentes esquemas de inyección previos a la mezcla en las corrientes de entrada.

30

- El mezclador en red puede construirse con gran facilidad empleando materiales diferentes, con la intensificación de la transmisión del calor y los procesos catalíticos a través de las paredes del aparato.

- La reacción química no puede controlarse mediante la definición de diferentes tipos de catalizadores en diferentes zonas de la unidad o en unidades diferentes conectadas en serie o en paralelo.

35

- Las características geométricas del mezclador en red, concretamente las proporciones de las dimensiones características entre las cámaras y los canales pueden prediseñarse, conforme a la especificidad de los productos deseados.

40

- Es posible asociar diferentes unidades de mezcla en red tanto en paralelo como en serie. De este modo, el aumento a escala de una unidad de este tipo es directo.

45

- El dispositivo de mezcla puede conectarse fácilmente a unidades de transmisión de calor, en una disposición similar a la de un intercambiador térmico de placas. La dirección del flujo de los líquidos que se encuentran en el interior del mezclador en red y en la unidad de transmisión de calor puede ajustarse de forma local para poder controlar de forma eficaz la temperatura existente en el interior del mezclador.

50

- La selectividad y la conversión de la reacción pueden controlarse mediante las formas concretas en que los reactantes químicos se introducen en el mezclador o mediante las características geométricas de la unidad de mezcla. La capacidad de controlar la mezcla y el tiempo de permanencia de los reactantes es otra de las ventajas en relación a las unidades empleadas actualmente.

Las unidades de este tipo pueden utilizarse en diferentes tipos de procesos, y a continuación se presentan algunos ejemplos:

55

- Reacciones de oxidación (Jensen, 2001). En este tipo de reacciones la selectividad de los productos resultantes, que derivan de la reacción intermedia, depende en gran medida de la concentración del oxígeno disponible. Los problemas de seguridad adquieren importancia debido a la posibilidad de explosión (Jähnisch *et al.*, 2000). La posibilidad de controlar la alimentación y la mezcla de reactantes en estas unidades de reacción, así como la temperatura de la reacción, es un factor fundamental para obtener una buena selectividad de los productos resultantes.

60

- Síntesis de productos peligrosos. El mezclador en red puede construirse empleando materiales adecuados para los reactantes y los productos utilizados. Los ejemplos que ilustran esta característica son la síntesis de isocianuros (Ehrfeld *et al.*, 2002), de fosgeno (Ajmera *et al.*, 2001) y de silanos (Ehrfeld *et al.*, 2002). La posibilidad de utilizar diversas unidades de mezcladores en red en paralelo presenta ventajas con respecto a las reacciones peligrosas y en caso de accidentes, ya que se evita la detención del proceso para llevar a cabo el mantenimiento.

65

- Síntesis de productos químicos que precisan de un gran número de fases diferentes. Dado que se pueden conectar en serie diferentes unidades de mezcla en red, las diversas fases reactivas se pueden llevar a cabo de forma continua.

Por otro lado, la posibilidad de controlar el tiempo de permanencia de los reactantes y su distribución para obtener diversos grados de conversión y selectividad confieren a estas unidades un gran interés para la industria farmacéutica (Jensen, 2000).

• Mezcla de materiales de gran viscosidad, como por ejemplo pinturas. En este caso la mezcla se controla por mecanismos de transferencia de masas por difusión, y suele ser difícil garantizar la calidad del producto final.

• Síntesis de productos en los que los efectos de la mezcla son fundamentales, como los pigmentos basados en compuestos azoicos. La posibilidad de controlar la alimentación de reactantes, la distribución de los catalizadores y la temperatura de la reacción aumenta las probabilidades de obtener los productos deseados y acentúa la eficacia del proceso (Nickel *et al.*, 2001; Wille *et al.*, 2002).

Bibliografía

Ajmera, S., Losey, M.W., Jensen, K.F., Schmidt, M.A., "Microfabricated Packed-Bed Reactor for Phosgene Synthesis", *AIChE J.*, 47(7), 1639-1647, 2001.

Cybulski, A., Moulijn, J. A. Structured Catalysts and Reactors, *Marcel Dekker, Inc.*, 1998.

Dullien, F.A.L., "Catalyst Support with Intersecting Channel Network, Catalysis Reactor Comprising Same and Method for Making Same", World Patent WO02/081083 A1, 2002.

Ehrfeld, W., Golbig, K., Hessel, V., Löwe, H., Ritscher, T., "Characterization of Mixing in Micromixers by a Test Reaction: Single Mixing Units and Mixer Arrays", *IEC&R*, 38 (3), 1075-1082, 1999.

Ehrfeld, W., Hessel, V., "3-Micromixers", *Microreactors: New Technology for Modern Chemistry*, Wiley-VCH, 2000.

Ehrfeld, W., Hessel, V., Haverkamp, V., "Microreactors", *Ullman Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, 2002.

Hendershot, D.C., "Process Minimization: Making Plants Safer", *Chemical Engineering Progress*, January 2000, 35-40.

Jähnisch, K., Baerns, M., Hessel, V., Ehrfeld, W., Haverkamp, V., Löwe, H., Wille, Ch., Guber, A., "Direct Fluorination of Toluene Using Elemental Fluorine in Gas/Liquid Microreactors", *J. Fluorine Chemistry*, 105, 117-128, 2000.

Jensen, K.F., "Microchemical Systems: Status, Challenges and Opportunities", *AIChE J.*, 45(10), 2051-2054, 1999.

Jensen, K.F., "The Impact of MEMS on the Chemical and Pharmaceutical Industries", *Solid-State Sensor and Actuator Workshop*, June 4-8, 2000.

Jensen, K.F., "Microreaction Engineering - Is Small Better?", *Chemical Engineering Science*, 56, 293-303, 2001.

Keller, G.E., Bryan, P.F., "Process Engineering: Moving in New Directions", *Chemical Engineering Progress*, January 2000, 41-50.

Levenspiel, O., Bischoff, K.B., "Patterns of Flow in Chemical Process Vessels", *Adv. Chem. Engng.*, 7, 95-198, 1972.

Nickel, U., Jung, R., Saitmacher, K., Unverdorben, L., "Preparation of Azo Colorants in Microreactors", US Patent 2001/0029294/A1, 2001.

Schwalbe, T., Auzte, V., Wille, G., "Chemical Synthesis in Microreactors", *Chimia*, 56(11), 636-646, 2002.

Stankiewicz, A.I., Moulijn, J.A., "Process Intensification: Transforming Chemical Engineering", *Chemical Engineering Progress*, January 2000, 22-34.

Villermaux, J., "Génie de Réaction Chimique", *Lavoisier*, 1993.

Wille, Ch., Autze, V., Kim, H., Nickel, U., Oberbeck, S., Schwalbe, Th., Unverdorben, L., "Progress in Transferring Microreactors from Lab into Production - an Example in the Field of Pigments Technology", *IMRET 6*, 2002.

Bibliografía citada en la descripción

Esta lista bibliográfica citada por el solicitante sirve únicamente para facilitar la lectura del documento. No forma parte del documento de Patente Europea. Aunque la bibliografía se ha recopilado con gran minuciosidad, es necesario tener en cuenta que pueden existir posibles errores u omisiones, y la OEP se exime de toda responsabilidad que pueda surgir a este respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción:

- EP 1185359 A [0006]
- EP 1134020 A1 [0006]
- WO 02096543 A1 [0006]
- WO 02081083 A1 [0049]
- US 2004014967 A1 [0006]
- US 20010029294 A1 [0060]
- EP 1036588 A1 [0006]

Otra bibliografía citada en la descripción:

- AJMERA, S.; LOSEY, M.W.; JENSEN, K.F.; SCHMIDT, M.A. Microfabricated Packed-Bed Reactor for Phosgene Synthesis. *AIChE J.*, 2001, vol. 47 (7), 1639-1647 [0047]
- CYBULSKI, A.; MOULIJN, J. A. Structured Catalysts and Reactors. *Marcel Dekker, Inc.*, 1998 [0048]
- EHRFELD, W.; GOLBIG, K.; HESSEL, V.; LÖWE, H.; RITRCHER, T. Characterization of Mixing in Micromixers by a Test Reaction: Single Mixing Units and Mixer Arrays. *IEC&R*, 1999, vol. 38 (3), 1075-1082 [0050]
- 3-Micromixers. EHRFELD, W.; HESSEL, V. *Micoreactors: New Technology for Modern Chemistry*. Wiley-VCH, 2000 [0051]
- Micoreactors. EHRFELD, W. HESSEL, V.; HAVERKAMP, V. *Ullman Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH, 2002 [0052]
- HENDERSHOT, D.C. Process Minimization: Making Plants Safer. *Chemical Engineering Progress*, January 2000, 35-40 [0053]
- JÄHNISCH, K.; BAERNS, M.; HESSEL, V.; EHRFELD, W.; HAVERKAMP, V.; LÖWE, H.; WILLE, CH.; GUBER, A. Direct Fluorination of Toluene Using Elemental Fluorine in Gas/Liquid Microreactors. *J. Fluorine Chemistry*, 2000, vol. 105, 117-128 [0054]
- JENSEN, K.F. Microchemical Systems: Status, Challenges and Opportunities. *AIChE J.*, 1999, vol. 45 (10), 2051-2054 [0055]
- JENSEN, K.F. The Impact of MEMS on the Chemical and Pharmaceutical Industries. *Solid-State Sensor and Actuator Workshop*, 04 June 2000 [0056]
- JENSEN, K.F. Microreaction Engineering - Is Small Better?. *Chemical Engineering Science*, 2001, vol. 56, 293-303 [0057]
- KELLER, G.E.; BRYAN, P.F. Process Engineering: Moving in New Directions. *Chemical Engineering Progress*, January 2000, 41-50 [0058]
- LEVENSPIEL, O.; BISCHOFF, K.B. Patterns of Flow in Chemical Process Vessels. *Adv. Chem. Engng.*, 1972, vol. 7, 95-198 [0059]
- SCHWALBE, T.; AUZTE, V.; WILLE, G. Chemical Synthesis in Microreactors. *Chimia*, 2002, vol. 56 (11), 636-646 [0061]
- STANKIEWICZ, A.I.; MOULIJN, J.A. Process Intensification: Transforming Chemical Engineering. *Chemical Engineering Progress*, January 2000, 22-34 [0062]
- VILLERMAUX, J. *Génie de Réaction Chimique*, 1993 [0063]
- WILLE, CH.; AUTZE, V.; KIM, H.; NICKEL, U.; OBERBECK, S.; SCHWALBE, TH.; UNVERDORFEN, L. Progress in Transferring Microreactors from Lab into Production - an Example in the Field of Pigments Technology. *IMRET*, 2002, 6 [0064]

REIVINDICACIONES

5 1. Mezclador estático, con reacción o sin ella, que consta de un conjunto de celdas básicas, cada una de ellas formada por una cámara independiente (1) que consta de un mínimo de dos canales de conexión (2) que comunican con la cámara y al menos dos aberturas adicionales (0) que conectan el interior de la cámara con el exterior de la celda respectiva para conectarla con canales externos, por lo que las mencionadas celdas básicas se encuentran interconectadas secuencialmente entre ellas en un espacio bidimensional o tridimensional **caracterizado** porque un mínimo de dos de estos canales se encuentran en una posición oblicua con respecto a la dirección resultante (x) del flujo en el interior del mezclador.

10 2. Mezclador estático conforme a la reivindicación 1 **caracterizado** porque las celdas básicas que conforman el mezclador, interconectadas sucesivamente entre ellas, ya sean todas o solo algunas, presentan diferentes dimensiones lineales o angulares de sus elementos característicos (0, 1, 2).

15 3. Mezclador estático conforme a las reivindicaciones 1 o 2 **caracterizado** porque cada celda básica está formada por una cámara esférica (1), dos o tres canales cilíndricos (2) y dos o tres aberturas (0) para conectarla con canales externos.

20 4. Mezclador estático de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 **caracterizado** porque cada celda básica está formada por una cámara cilíndrica (1) con un eje perpendicular al plano del mezclador, dos o tres canales prismáticos rectangulares que se extienden por toda la altura de la superficie cilíndrica y siguiendo el plano del mezclador, y dos o tres aberturas (0) en la superficie indicada que la conectan con canales externos.

25 5. Mezclador estático conforme a las reivindicaciones 1 o 2 **caracterizado** porque comprende de forma simultánea celdas básicas según lo descrito en las reivindicaciones 3 y 4.

30 6. Mezclador estático conforme a cualquiera de las reivindicaciones comprendidas entre la 1 y la 5 **caracterizado** porque en cada celda básica, la inyección de corrientes de alimentación en la respectiva cámara independiente (1) se obtiene gracias a los canales cuyo eje coincide con el eje de los canales asociados a la cámara respectiva mediante los cuales se facilita la expulsión de las corrientes de mezcla resultantes.

35 7. Mezclador estático conforme a cualquiera de las reivindicaciones comprendidas entre la 1 y la 6 **caracterizado** porque en algunas celdas la inyección de flujos de alimentación en la cámara independiente (1) o, de forma alternativa, la expulsión de los flujos de mezcla de la cámara se logra mediante canales cilíndricos cuyo eje es perpendicular al plano del mezclador (xy) y contiene el centro de la cámara.

40 8. Proceso de mezcla de especies químicas en un flujo continuo **caracterizado** porque dos o más de estas especies químicas atraviesan el mezclador conforme a la reivindicación 1, en el cual la inyección desde el exterior del mezclador se realiza bien de forma simultánea, insertando todas las especies desde el punto de inicio del mezclador o únicamente las dos primeras especies, e inyectando el resto de las especies de forma progresiva desde el exterior en puntos de mezcla predeterminados del mezclador ubicados en dirección descendente desde el inicio del mezclador, y en el que la expulsión hacia el exterior del mezclador se lleva a cabo en el extremo final del mezclador en relación con la mezcla resultante, o de forma simultánea en puntos de mezcla predeterminados del mezclador, en relación a las mezclas intermedias, colocando estos puntos de mezcla a contracorriente desde el extremo final del mezclador.

50 9. El proceso de mezcla, conforme a la reivindicación previa, **caracterizado** porque las inyecciones intermedias y las expulsiones finales tienen lugar en las celdas del mezclador conforme a la reivindicación 6, y las inyecciones iniciales o las expulsiones finales se dan en las celdas conforme a las reivindicaciones 6 o 7.

50

55

60

65

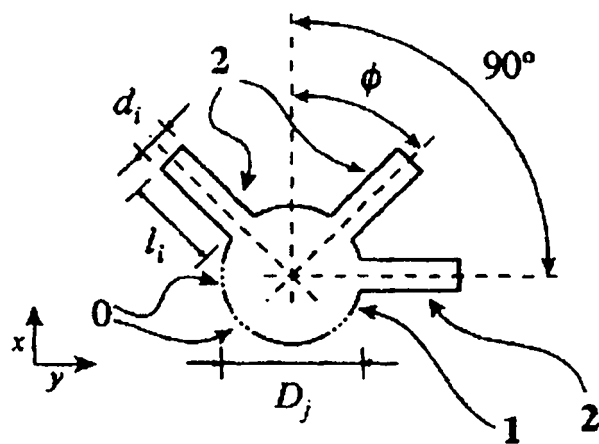


FIG. 1

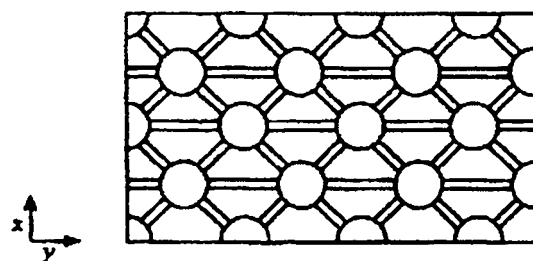


FIG. 2

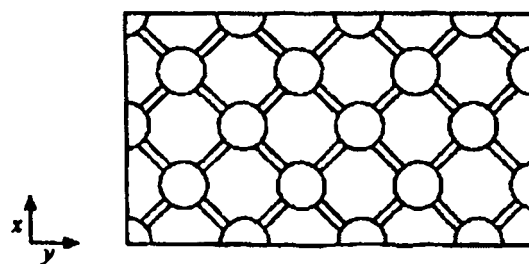


FIG. 3

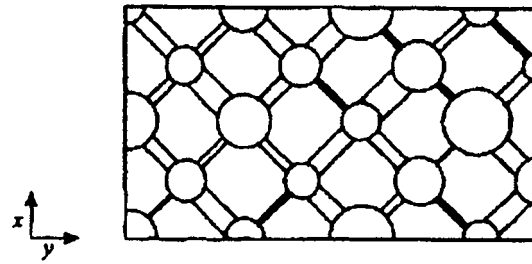


FIG. 4

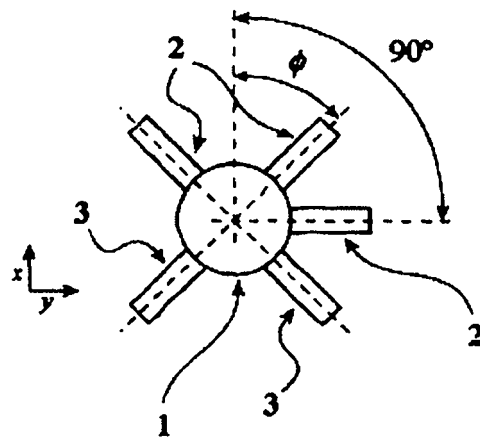


FIG. 5

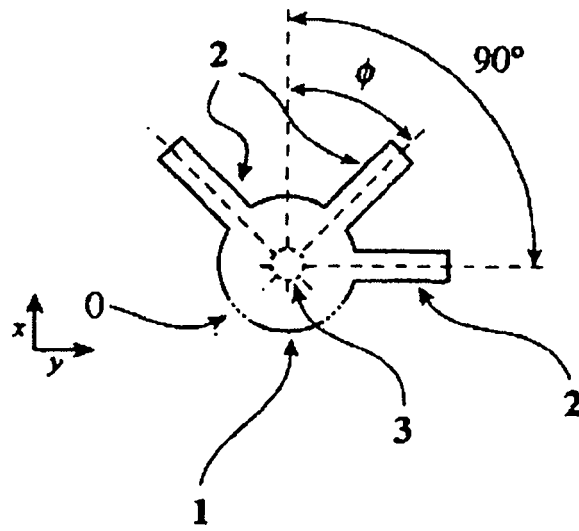


FIG. 6

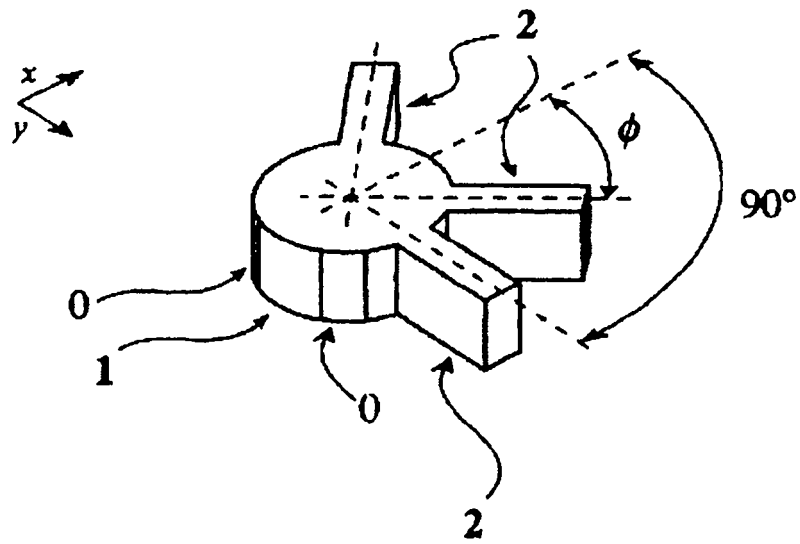


FIG. 7