



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 664**

51 Int. Cl.:  
**B01F 5/04** (2006.01)  
**B01J 8/02** (2006.01)  
**F15D 1/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08716702 .9**  
96 Fecha de presentación : **19.03.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2125177**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.12.2009**

54 Título: **Dispositivo de mezclado de baja caída de presión y procedimiento para mezclar dos gases/vapores.**

30 Prioridad: **29.03.2007 IT MI07A0627**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**25.05.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**25.05.2011**

73 Titular/es: **POLIMERI EUROPA S.p.A.**  
**Piazza Boldrini, 1**  
**20097 San Donato Milanese, MI, IT**

72 Inventor/es: **Assandri, Fabio;**  
**Regattieri, Giovanni y**  
**Bottoni, Paolo**

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

**ES 2 359 664 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**

Dispositivo de mezclado de baja caída de presión y procedimiento para mezclar dos gases/vapores.

5 La presente invención se refiere un dispositivo de mezclado de baja caída de presión y a la utilización del mismo en el mezclado de dos gases/vapores.

Más en particular, la presente invención se refiere a un dispositivo de mezclado de baja caída de presión y a la utilización del mismo en el mezclado de etilbenceno y vapor de agua a una temperatura elevada en unidades de producción de estireno.

10 Tal como es sabido, el monómero de estireno se produce principalmente mediante la deshidrogenación de etilbenceno a una alta temperatura en un lecho fijo de un catalizador sólido basado principalmente en óxidos de hierro. Antes de entrar en el lecho catalítico, el etilbenceno se mezcla con vapor de agua a alta temperatura, con el fin de mejorar el rendimiento y la selectividad de la reacción. El vapor de agua presenta la finalidad de desplazar el equilibrio de reacción hacia el estireno, calentar la masa de reactivo y mantener el catalizador limpio de precipitados carbonosos, formando gas acuoso con estos últimos.

15 Por estos motivos, resulta de importancia fundamental que el mezclado entre los dos gases (etilbenceno y vapor de agua) sea lo más completo posible. Un mal mezclado, que provoca una concentración y una temperatura no homogéneas en la corriente gaseosa en la entrada del reactor, reduce el rendimiento y la selectividad del procedimiento debido a la formación de productos no deseados y también acelera la tasa de envejecimiento del catalizador.

20 Además, con el fin de reducir el consumo de energía y el coste de inversión del equipo aguas arriba, se requiere que el mezclado entre etilbenceno y vapor de agua tenga lugar con una caída de presión que sea lo más baja posible.

25 Las mezcladoras para plantas de monómero de estireno se estructuran normalmente de la siguiente manera. Uno de los dos gases (A) se utiliza como corriente principal y se hace pasar al interior de una cámara a partir de cuyas paredes se inyecta el segundo gas (B). La turbulencia (con frecuencia aumentada mediante promotores adecuados) y la forma alargada de la cámara permiten que se mezclen los dos gases. Al final de la cámara está prevista una mezcladora estática para potenciar adicionalmente la homogeneidad. Puede decirse que este procedimiento de mezclado aprovecha sustancialmente la difusión turbulenta sobre la escala del diámetro total del equipo.

30 En la bibliografía, se conocen algunos dispositivos de mezclado (véanse, por ejemplo, la solicitud de patente internacional WO 01/97960 o las patentes europeas EP 303 438 y EP 1 180 393) que comprenden haces de tubos perforados, utilizados para mezclar fluidos, para enviarlos posteriormente a una zona de reacción, por ejemplo, un lecho catalítico. Sin embargo, los tipos de mezcladoras propuestos en condiciones de baja caída de presión dentro del tubo individual, no garantizan una distribución uniforme del flujo entre los diversos tubos del haz y por tanto no permiten obtener un alto grado de mezclado, con bajo consumo de energía.

35 El documento EP-A2-0 303 439 da a conocer un dispositivo de mezclado según el preámbulo de la reivindicación 1.

40 El solicitante ha encontrado ahora un nuevo tipo de mezcladora para gases, que representa una alternativa a los modelos industriales utilizados en plantas de estireno o los de la técnica conocida, que permite obtener un buen mezclado, mediante una solución más compacta y económica, con caídas de presión muy bajas, sin necesidad de disponer de una mezcladora estática aguas abajo. Por tanto, esta nueva mezcladora también puede adaptarse fácilmente a la descongestión de plantas existentes, en las que resulta deseable mejorar el mezclado pero no hay mucho espacio disponible.

45 Un objetivo de la presente invención se refiere, por tanto, a proporcionar un dispositivo de mezclado para dos gases/vapores según las características de la reivindicación 1.

50 Según el dispositivo de mezclado, objeto de la presente invención, los tubos del haz se fabrican a partir de acero u otra aleación metálica, por ejemplo, aleación de níquel. Son cónicos, divergiendo desde la entrada hacia la salida, su longitud está comprendida entre 0,5 y 3 metros y el diámetro interno promedio está comprendido entre 5 y 25 cm. Los tubos del haz están dispuestos divergiendo hacia la salida del haz.

55 La parte inicial de cada tubo, por ejemplo, del 10 al 50% de su longitud total, contiene una pluralidad de orificios, oscilando cada uno de 5 a 50 cm<sup>2</sup>, preferentemente de 10 a 30 cm<sup>2</sup>. El eje de los orificios puede ser perpendicular al eje del tubo relativo o puede formar un ángulo con este último, comprendido preferentemente entre 30 y 60°.

60 El haz de tubos está contenido generalmente entre dos placas de tubo de entrada y de salida perforadas, preferentemente fabricadas a partir del mismo material que el haz de tubos. Estas placas de tubo pueden presentar una forma circular plana o pueden estar en forma de una tapa esférica, y cada uno de los orificios es adecuado para contener cada uno de los tubos del haz.

El primer sistema de alimentación comprende un primer elemento o cuerpo tubular dentro del cual se alimenta uno de los dos gases que van a mezclarse, que está acoplado y fijado de manera hermética a la placa de tubo en la entrada del haz de tubos.

5

El segundo sistema de alimentación comprende un segundo elemento o cuerpo tubular, dentro del cual se alimenta el otro de los dos gases que van a mezclarse, que envuelve de una manera estanca a los gases el haz de tubos, en la placa de tubo de salida.

10

Los dos cuerpos tubulares pueden ser coaxiales. En este caso, el segundo cuerpo tubular abarca completamente tanto el haz de tubos como el primer cuerpo tubular.

15

Alternativamente, el eje del primer elemento tubular puede formar un ángulo  $\alpha$  con el eje del segundo elemento tubular, comprendido entre 0 y 90°, o entre -90 y 0°, dependiendo de si la proyección sobre el plano horizontal del primer elemento tubular está a la izquierda o a la derecha de la proyección del segundo elemento tubular. En este caso, el segundo cuerpo tubular abarca completamente al haz de tubos y sólo parcialmente al primer cuerpo tubular.

20

El primer sistema de alimentación de uno de los dos gases garantiza un flujo uniforme de este gas entre todos los tubos del haz, manteniendo bajas caídas de presión. Este resultado se obtiene gracias a la presencia de una pluralidad de aletas, conformadas de manera adecuada, dispuestas en una sección transversal, dentro del primer cuerpo tubular.

El número de aletas está comprendido entre 4 y 15.

25

En particular, dichas aletas están constituidas por unas placas delgadas, en forma de arco, estando comprendido el ángulo central  $\beta$  entre 0 y  $\alpha+10^\circ$ , cuando  $\alpha$  está comprendido entre 0 y 90°, o el correspondiente simétrico, cuando  $\alpha$  está comprendido entre -90 y 0°. En este caso, la sección transversal de la disposición de las aletas es la que pasa sustancialmente a través del punto en el que se cruzan los dos ejes de los dos cuerpos tubulares.

30

Cuando  $\alpha$  es cero (los dos cuerpos tubulares son coaxiales),  $\beta$  también es igual a cero.

35

El segundo cuerpo tubular forma una carcasa cerrada que envuelve de una manera estanca los gases al haz de tubos y a las dos placas de tubo y, por lo menos parcialmente, el primer cuerpo tubular. Uno de los dos gases que va a mezclarse con el otro se carga dentro de la carcasa cerrada a través de una sección de alimentación. La presión dentro de la carcasa se mantiene superior a la presente en los tubos, de tal modo que el gas de la carcasa fluya dentro de los tubos a través de los orificios laterales.

40

Gracias a este mecanismo de subdivisión y recombinación, se crea una clase de premezclado de las dos corrientes gaseosas a gran escala, y esto permite que el mezclado de los dos gases sea completo en cámaras que presentan dimensiones reducidas. Estas cámaras de mezclado reducidas son la parte de los tubos aguas abajo de las partes perforadas, en las que, gracias a la difusividad turbulenta a la escala reducida del diámetro del tubo, se obtiene el mezclado estrecho de los dos gases y, gracias a la longitud reducida, a la posible forma cónica y a la orientación de los orificios, las caídas de presión son muy bajas.

45

Un procedimiento para mezclar dos gases/vapores (en adelante) según las características de la reivindicación 11 representa un objetivo adicional de la presente invención.

50

Según el procedimiento, objeto de la presente invención, en el caso de la producción de estireno, uno de los gases consiste en vapor de agua a una temperatura comprendida entre 550 y 900°C, preferentemente entre 650 y 850°C, y el otro gas es etilbenceno, precalentado hasta 400-600°C, preferentemente entre 450 y 550°C.

En la salida de las cámaras de mezclado, los dos gases perfectamente mezclados se descargan directamente al interior del reactor de deshidrogenación que funciona en condiciones de funcionamiento convencionales.

55

La presente invención se ilustra a continuación, a título de ejemplo no limitativo, mediante la siguiente forma de realización que se refiere a la figura adjunta.

60

En la figura, el número de referencia (1) representa el haz de tubos que está constituido por una pluralidad de tubos (2) divergentes mantenidos juntos por medio de las dos placas de tubo de entrada (3) y de salida (4). Cada tubo presenta, en su parte inicial, una pluralidad de orificios (5).

65

El primer cuerpo tubular (6) está conectado a las placas de tubo (3), mientras que el segundo cuerpo tubular (7) envuelve de una manera estanca los gases las placas de tubo de salida (4). Los ejes de los cuerpos forman un ángulo  $\alpha$  de aproximadamente 45°. Las aletas (8) de dirección están situadas en la sección transversal del primer cuerpo tubular, en la intersección de los dos ejes.

El funcionamiento del dispositivo de mezclado, objeto de presente invención, resulta evidente a partir del esquema adjunto y de la descripción anterior.

5 Se alimenta un gas al primer cuerpo tubular (6), por ejemplo, vapor de agua a una elevada temperatura, a través de la sección de alimentación A. Se alimenta otro gas al segundo cuerpo tubular (7), por ejemplo, etilbenceno a una elevada temperatura, a través de la sección de alimentación B.

10 El vapor de agua se distribuye uniformemente dentro de los tubos de mezclado (2) gracias a las aletas (8) direccionales que permiten una distribución homogénea de vapor de agua en cada tubo de la mezcladora.

15 Se alimenta etilbenceno al segundo cuerpo tubular, a una presión ligeramente superior a la de la alimentación de vapor de agua, de tal modo que penetra dentro de los tubos de mezclado a través de los orificios (5). El etilbenceno se arrastra por el vapor de agua dentro de los tubos en los que, gracias a la difusividad turbulenta a una escala reducida del diámetro del tubo, se obtiene el mezclado estrecho de los dos gases.

20 Se descarga la mezcla de gases a través de la sección de salida C y se alimenta al reactor de reacción (no representado).

### 20 Ejemplo

25 Se inserta un haz de 100 tubos, presentando cada uno una sección (1) longitudinal cónica, con una longitud de 1,2 m, un diámetro interno promedio de 10 cm, en un cuerpo tubular o carcasa (7) cerrada de 8 m<sup>3</sup>. La parte inicial de cada tubo, de 50 cm de longitud, contiene 10 orificios (5), cada uno de 15 cm<sup>2</sup>, distribuidos homogéneamente en la superficie de la parte inicial del tubo (2).

30 Se alimenta vapor de agua a 700°C dentro de los tubos mediante la sección de alimentación (A) de un cuerpo tubular (6) situado en un lado de la mezcladora. Se carga etilbenceno, a una temperatura de 500°C, mediante una sección de alimentación (B) situada sobre la carcasa (7), manteniéndose una presión de etilbenceno de 0,08 MPa dentro de la carcasa.

35 Se descarga una mezcla gaseosa en la salida de los tubos (C), que se alimenta directamente a un reactor de deshidrogenación que funciona en las siguientes condiciones:

Catalizador: óxidos de hierro, óxidos de potasio;  
Temperatura: 600°C;  
Presión: 0,06 MPa;  
Razón de vapor de agua/etilbenceno: 1,45; LHSV: 0,95 h<sup>-1</sup>.

40 Se obtiene una velocidad de flujo de 23.500 kg/h de estireno con una selectividad del 95,3% en la salida del reactor de deshidrogenación.

45 Se alimentan las mismas velocidades de flujo de vapor de agua y etilbenceno, sustancialmente en las mismas condiciones termodinámicas mencionadas anteriormente, a una mezcladora tradicional que consiste en un tubo individual, de 1,5 m de longitud, con un diámetro interno de 200 cm equipado con una entrada lateral.

50 Se alimenta el vapor de agua a la entrada principal del tubo, mientras que se alimenta etilbenceno desde la entrada lateral.

55 Al final del tubo, se instala una mezcladora estática constituida por 4 capas de mezclado, cada una de 0,60 m de altura (para un total de 2,4 m) y con un diámetro de 210 cm. Se alimenta la mezcla obtenida de este modo al reactor de deshidrogenación que funciona en las mismas condiciones indicadas anteriormente.

Se obtienen 23.500 kg/h de estireno, con una selectividad del 94,4% (con un consumo superior de etilbenceno de aproximadamente 10 kg por cada tonelada de estireno producida), o con una condición de ejecución alternativa, es posible obtener 23.500 kg/h de estireno, con una selectividad del 95,3% pero un consumo de vapor de agua adicional de aproximadamente 5.000 kg/h.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de mezclado para dos gases/vapores que comprende:

- 5 a. una pluralidad de tubos dispuestos en un haz (1), provisto cada uno, en su parte inicial, de una pluralidad de orificios laterales (5);
- b. un primer sistema de alimentación de uno de los dos gases/vapores, que comprende un primer cuerpo tubular (6) situado en el lado de entrada de los tubos; y
- 10 c. un segundo sistema de alimentación del otro gas/vapor que comprende un segundo cuerpo tubular (7) que envuelve de una manera estanca a los gases el haz (1) de tubos y por lo menos una parte del primer cuerpo tubular (6);

15 caracterizado porque:

- d. el primer sistema de alimentación de uno de los gases/vapores comprende una pluralidad de aletas (8), dentro del primer cuerpo tubular (6), que permiten una distribución uniforme del gas de alimentación a los tubos individuales

20 y caracterizado asimismo porque

los tubos del haz de tubos son cónicos, divergiendo desde la entrada hacia la salida.

25 2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de orificios (5) está presente en la parte inicial de cada tubo del haz (1) de tubos, oscilando entre aproximadamente el 10 y el 50% de la longitud total.

30 3. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que todos los orificios (5) de los tubos del haz (1) de tubos presentan una superficie comprendida entre 5 y 50 cm<sup>2</sup>.

4. Dispositivo según la reivindicación 3, en el que el eje de los orificios (5) es perpendicular al eje del tubo relativo, o forma un ángulo con este último comprendido entre 30 y 60°.

35 5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el haz (1) de tubos está contenido entre dos placas de tubo de entrada y de salida.

40 6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer sistema de alimentación comprende un primer cuerpo tubular (6) que está acoplado y fijado de manera hermética a la placa tubular en la entrada del haz de tubos.

7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo sistema de alimentación comprende un segundo cuerpo tubular (7) que envuelve de una manera estanca a los gases el haz (1) de tubos en la placa de tubo de salida, para abarcar dicho haz de tubos y el primer cuerpo tubular (6).

45 8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer cuerpo tubular (6) y el segundo cuerpo tubular (7) son coaxiales.

50 9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el eje del primer cuerpo tubular (6) forma con el eje del segundo cuerpo tubular (7) un ángulo  $\alpha$  comprendido entre 0 y 90°, o entre -90 y 0°.

55 10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las aletas (8) del primer sistema de alimentación están constituidas por unas placas delgadas en forma de arco, con un ángulo central  $\beta$  comprendido entre 0 y  $\alpha+10^\circ$  cuando  $\alpha$  está comprendido entre 0 y 90°, o el correspondiente simétrico, cuando  $\alpha$  está comprendido entre -90 y 0°.

11. Procedimiento para mezclar dos gases/vapores, que comprende:

- 60 i. disponer un haz (1) de tubos que presentan una sección cónica divergente desde la entrada hacia la salida, equipados con una pluralidad de orificios laterales (5) en su parte inicial, en una carcasa sellada con una sección de alimentación de uno de los dos gases/vapores;
- ii. alimentar de manera continua, dentro de cada tubo, el segundo de los dos gases/vapores a través de un sistema de alimentación que incluye un cuerpo tubular y, en su interior, una pluralidad de aletas (8) direccionales que permiten la distribución uniforme de la corriente de dicho segundo gas dentro de los tubos individuales;

65

iii. alimentar de manera continua dicho primer gas/vapor dentro de la carcasa cerrada a través de la sección de alimentación; y

5 iv. mantener, dentro de la carcasa cerrada, una presión del gas/vapor que es tal que permite que dicho primer gas/vapor fluya dentro de dichos tubos, a través de los orificios laterales (5).

12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que uno de los dos gases/vapores es vapor de agua a una temperatura comprendida entre 550 y 900°C mientras que el otro gas/vapor es etilbenceno precalentado hasta 400-600°C.

