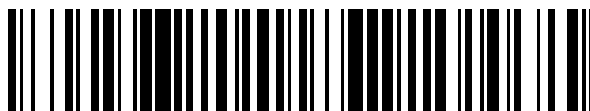


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 398**

51 Int. Cl.:

B01J 8/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.11.2010** **E 10290593 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015** **EP 2332643**

54 Título: **Dispositivo compacto de mezcla de fluidos en un reactor con flujo descendente**

30 Prioridad:

20.11.2009 FR 0905595

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

09.02.2015

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4, Avenue de Bois-Préau
92852 Rueil-Malmaison Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**AUGIER, FRÉDÉRIC;
DARMANCIER, DENIS y
BOYER, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 528 398 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 compacto de mezcla de fluidos en un reactor con flujo descendente

5 Campo de la invención

La presente invención se relaciona con un dispositivo compacto de mezcla de fluidos en un reactor con flujo descendente y con su utilización para la realización de reacciones exotérmicas. La invención se relaciona igualmente con un reactor que incluye un dispositivo compacto de mezcla. La invención se aplica en el ámbito de las reacciones exotérmicas, y más particularmente a las reacciones de hidrotratamiento, de hidrodesulfuración, de hidrodesnitrogenación, de hidrocrackeo, de hidrogenación y de hidrodesaromatización.

Examen de la técnica anterior

Las reacciones exotérmicas realizadas en el refinado y/o en la petroquímica necesitan ser enfriadas mediante un fluido adicional para evitar una aceleración térmica del reactor en el cual se efectúan. Es igualmente necesario mantener un gradiente de temperatura homogéneo en el seno del reactor con el fin de evitar la existencia de puntos calientes en el lecho de catalizador. Estos puntos calientes pueden disminuir prematuramente la actividad del catalizador. Dan lugar también a reacciones no selectivas. Es, pues, importante disponer de al menos una cámara de mezcla en un reactor que permita un reparto homogéneo en cuanto a temperatura de los fluidos y un enfriamiento de los fluidos de reacción a una temperatura deseada.

Para efectuar esta homogeneización, el experto en la técnica se ve a menudo forzado a utilizar una disposición específica de elementos internos con frecuencia complejos que conlleva una introducción del fluido de enfriamiento lo más homogénea posible en la sección del reactor. Esta inyección es efectuada más abajo de la cámara de mezcla, ya sea por sistemas multiagujero tales como los descritos, por ejemplo, en los documentos de patente EP-B-0.716.881 y US 5.025.831, ya sea por sistemas de tipo araña, tales como los descritos, por ejemplo, en el documento de patente US 4.836.989. Estas cajas son generalmente muy complejas. Son frecuentemente dobles o incluso triples, tales como las descritas en la patente US 5.232.283, a menudo provistas de elementos internos, tales como palas, aletas, guías o deflectores, como los descritos, por ejemplo, en la patente US 5.567.396. Los principales inconvenientes de este tipo de sistema son la complejidad de realización y de puesta en práctica, la pérdida de carga inducida y, más en particular, el espacio ocupado (lugar ocupado en el reactor).

Se conoce igualmente por la solicitud de patente FR-A-2.824.495 un dispositivo de enfriamiento que permite asegurar un intercambio eficaz entre el o los fluido(s) de enfriamiento y el o los fluido(s) del procedimiento. Ese dispositivo está integrado en un recinto y comprende una cánula de inyección del fluido de enfriamiento, un deflector de recogida de los fluidos, la caja de enfriamiento propiamente dicha, que opera la mezcla entre el fluido de enfriamiento y el flujo descendente, y un sistema de distribución compuesto por una cubeta perforada y por una bandeja distribuidora. La caja de enfriamiento lleva un deflector que asegura la puesta en movimiento en torbellino de los fluidos según una dirección sensiblemente no radial y no paralela al eje de dicho recinto y más abajo del deflector, en el sentido de la circulación del fluido de reacción, estando formada en la caja al menos una sección de paso de salida de la mezcla de fluidos. Este dispositivo permite paliar ciertos inconvenientes de los diferentes sistemas de la técnica anterior, pero sigue ocupando mucho espacio.

Ciertos dispositivos actuales permiten reducir este espacio ocupado. Por ejemplo, las patentes US 6.881.387, EP-B-1.721.660 y US 6.180.068 describen cajas de mezcla más planas que las de la técnica anterior. Sin embargo, estas cajas de enfriamiento tienen aún muchos elementos internos, los cuales, para ser eficaces, son susceptibles de producir grandes pérdidas de carga.

El documento US 2004/0134836 describe un dispositivo de mezcla en el cual los fluidos pasan verticalmente a través de una zona de mezcla horizontal.

La presente invención tiene, pues, por objeto paliar uno o más de los inconvenientes de la técnica anterior proponiendo un dispositivo compacto de mezcla. El dispositivo según la invención permite un beneficio substancial en términos de ocupación de espacio del reactor y asegura una buena mezcla de los fluidos y una buena homogeneidad en cuanto a temperatura.

Breve descripción de la invención

Un primer objeto de la invención es proporcionar un dispositivo compacto de mezcla de fluidos en un reactor con flujo descendente.

Otro objeto de la invención se relaciona con la utilización de un dispositivo compacto de mezcla de fluidos en un reactor con flujo descendente para la realización de reacciones exotérmicas.

Otro objeto de la invención se relaciona con un reactor que tiene un dispositivo compacto de mezcla de fluidos.

Otro objeto de la invención se relaciona con la utilización de un reactor que tiene un dispositivo compacto de mezcla de fluidos para la realización de reacciones exotérmicas.

Según un primer aspecto, la invención se relaciona con un dispositivo compacto de mezcla de fluidos en un reactor con flujo descendente que comprende:

- al menos un medio de recogida sensiblemente horizontal provisto de un conducto de recogida vertical para recibir los fluidos;
- una cámara de mezcla anular situada más abajo del medio de recogida en el sentido de la circulación de los fluidos, teniendo dicha cámara un extremo de entrada directamente unido a dicho conducto de recogida y un extremo de salida para el paso de los fluidos, estando situado dicho extremo de salida según la dirección radial del recinto del reactor, estando situada la cámara de mezcla anular en la periferia del recinto del reactor y estando comprendida la longitud de dicha cámara definida por el ángulo formado por los planos que pasan por los dos extremos de dicha cámara entre 130 y 200 grados, y
- al menos un medio de inyección situado en dicho conducto de recogida, situándose dicho medio de inyección a nivel del extremo de entrada de la cámara de mezcla anular;
- una bandeja de predistribución horizontal que tiene al menos una chimenea, estando situada dicha bandeja más abajo de dicha cámara a una distancia d_2 , en el sentido de la circulación de los fluidos.

Según otra variante de la invención, la distancia d_2 entre la bandeja de predistribución y la cámara de mezcla anular está comprendida entre 0 y 100 mm. Preferiblemente, esta distancia está comprendida entre 0,25 y 100 mm. Aún más preferiblemente, esta distancia está comprendida entre 0,5 y 5 mm.

Según otra variante de la invención, la distancia d_2 entre la bandeja de predistribución y la cámara de mezcla anular es igual a 0 mm, estando la cámara de mezcla anular en contacto con la bandeja de predistribución.

Según otra variante de la invención, la cámara de mezcla anular está situada a una distancia d_1 del recinto del reactor, variando la distancia d_1 del 0,5% al 25% del diámetro del reactor.

Según otra variante de la invención, el diámetro d de la cámara de mezcla anular está comprendido entre 0,05 y 0,5 m. Preferiblemente, el diámetro está comprendido entre 0,1 y 0,3 m. Aún más preferiblemente, está comprendido entre 0,15 y 0,25 m.

Según un segundo aspecto, la invención se relaciona con la utilización del dispositivo compacto de mezcla para la realización de reacciones exotérmicas.

Según un tercer aspecto, la invención se relaciona con un reactor de forma alargada a lo largo de un eje sensiblemente vertical en el que se hace circular de arriba a abajo de dicho reactor al menos un fluido de reacción a través de al menos un lecho de catalizador, teniendo dicho reactor más abajo del lecho de catalizador en el sentido de la circulación de dicho fluido de reacción al menos un dispositivo compacto de mezcla.

Según una variante de la invención, el reactor tiene además una bandeja de distribución sensiblemente horizontal situada más abajo del dispositivo compacto de mezcla en el sentido de la circulación de los fluidos.

Según otra variante de la invención, el reactor tiene además un segundo lecho de catalizador situado más abajo del dispositivo compacto de mezcla y de la bandeja de distribución.

Según un cuarto aspecto de la invención, la invención se relaciona con la utilización para la realización de reacciones exotérmicas de un reactor de forma alargada a lo largo de un eje sensiblemente vertical en el que se hace circular de arriba a abajo de dicho reactor al menos un fluido de reacción a través de al menos un lecho de catalizador, teniendo dicho reactor más abajo del lecho de catalizador en el sentido de la circulación de dicho fluido de reacción al menos un dispositivo compacto de mezcla.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 representa un corte axial de un reactor multilecho con flujo descendente que incluye el dispositivo compacto de mezcla según la invención. La flecha en negrita representa el sentido de flujo de los fluidos en el reactor.

La figura 2 representa una vista desde arriba del dispositivo compacto de mezcla según el corte representado por la línea A-A de puntos.

La figura 3 representa la eficacia total de mezcla del dispositivo según la invención en función de la eficacia de mezcla medida sobre la bandeja de predistribución (abscisa η_{swirl}) y para diferente eficacia de la cámara de mezcla anular (η_{tore}).

Descripción detallada de la invención

El dispositivo compacto de mezcla según la invención es utilizado en un reactor en el cual se efectúan reacciones exotérmicas, tales como reacciones de hidrotratamiento, de hidrodesulfuración, de hidrodesnitrogenación, de hidrocrackeo, de hidrogenación y de hidrodesaromatización. El reactor tiene una forma alargada a lo largo de un eje sensiblemente vertical. Se hace circular de arriba a abajo de dicho reactor al menos un fluido de reacción (o fluido de "process", según la terminología anglosajona) a través de al menos un lecho de catalizador. A la salida del lecho, se recoge el fluido de reacción y se mezcla después con un fluido de enfriamiento (o fluido de "quench", según la terminología anglosajona) en el dispositivo compacto según la invención antes de distribuirlo al lecho de catalizador situado más abajo de la bandeja de distribución. Más abajo y más arriba se definen con respecto al sentido del flujo del fluido de reacción.

El fluido de reacción puede ser un gas o un líquido o un mixto que contenga líquido o gas; ello depende del tipo de reacción efectuada en el reactor. El fluido de reacción que atraviesa el lecho de catalizador que se encuentra más arriba es recogido por un medio de recogida sensiblemente horizontal (5) provisto de un conducto de recogida sensiblemente vertical (7) (cf. figura 1). Por "sensiblemente vertical" y por "sensiblemente horizontal", se entiende en el sentido de la presente invención una variación de un plano con la vertical, y respectivamente con la horizontal, de un ángulo α comprendido entre ± 5 grados. El medio de recogida está constituido por una placa maciza dispuesta en el plano perpendicular al eje longitudinal del recinto bajo la rejilla del lecho catalítico. Esta placa se extiende radialmente sobre toda la superficie del reactor. Lleva en su extremo una abertura (6) a la que se une dicho conducto de recogida vertical (7). El medio de recogida sirve para recoger el flujo del fluido de reacción procedente del lecho catalítico que está más arriba y dirige este fluido hacia dicho conducto de recogida. El medio de recogida está distante de la rejilla del lecho catalítico en una altura (H1) que crea un espacio de recogida (4). Este espacio es necesario para permitir el drenaje del fluido de reacción hasta dicho conducto. Esta altura H1 debe ser seleccionada de forma que se limite la pérdida de carga durante la recogida del fluido que fluye del lecho de catalizador (2) y que se limite la altura de guardia. La altura de guardia no debe modificar el drenaje del fluido de reacción hacia el conducto de recogida, ni su flujo en este conducto. En un modo de realización de la invención, la altura H1 está comprendida entre 30 y 200 mm, preferentemente entre 30 y 150 mm, aún más preferentemente entre 40 y 100 mm. Según un modo de realización de la invención, la altura H1 es igual a 100 mm.

El conducto de recogida vertical (7) desemboca en la cámara de mezcla anular (9) a nivel del extremo de entrada de dicha cámara. Este conducto dirige el flujo del fluido de reacción y del fluido de enfriamiento en dicha cámara. El diámetro del conducto vertical (7) es seleccionado de manera que se limiten las pérdidas de carga. Será, pues, seleccionado de manera que se limite la velocidad de flujo, en dicho conducto de recogida, del (o de los) fluido(s) de reacción procedente(s) del lecho de catalizador situado más arriba del medio de recogida. Preferentemente, la velocidad de dichos fluidos estará comprendida entre 2 y 5 m.s⁻¹.

El fluido de enfriamiento es inyectado por un medio de inyección (8) en el conducto de recogida vertical. La inyección es efectuada perpendicularmente al sentido de flujo del fluido de reacción en el conducto de recogida. El medio de inyección utilizado es bien conocido por el experto en la materia. Puede ser un picado lateral, o un tubo o arañas, o una rampa de tubos, etc.

El medio de inyección se sitúa a no importa qué altura en el conducto de recogida a partir de la abertura (6). Preferentemente, el medio de inyección se sitúa a nivel de la conexión del conducto de recogida con el extremo de entrada de la cámara de mezcla anular.

El fluido de enfriamiento puede ser líquido o gaseoso o mixto que contenga líquido o gas. Por ejemplo, el fluido de enfriamiento puede ser hidrógeno.

La cámara de mezcla anular (9) permite la mezcla del fluido de reacción con el fluido de enfriamiento. Dicha cámara tiene una forma toroidal incompleta. Está formada por un tubo encorvado de manera que se forma un arco de circunferencia. Tiene, pues, dos extremos distintos entre sí: un extremo llamado de entrada y un extremo llamado de salida (10), opuesto al extremo de entrada. El extremo de entrada se une al conducto de recogida y el extremo de salida es abierto y permite a la mezcla de fluidos fluir sobre la bandeja de predistribución. El extremo de salida (10) se sitúa siguiendo la dirección radial del recinto del reactor (1). Así, los fluidos que salen de la sección de abertura (10) son proyectados en la dirección tangencial de la sección del reactor (1). Esta disposición permite mantener un flujo rotativo de la mezcla de los fluidos sobre la bandeja de predistribución (11). Gracias a este flujo rotativo, el o los fluidos de reacción y el fluido de enfriamiento pueden continuar mezclándose sobre la bandeja de predistribución. El diámetro y la longitud de la cámara de mezcla anular (9) son seleccionados de manera que se garantice una buena mezcla entre el flujo procedente del lecho (2) y el fluido de enfriamiento, limitando la pérdida de carga en el conducto de recogida y el espacio ocupado en el reactor. La longitud de la cámara de mezcla anular está definida por el ángulo formado por los planos que pasan por los dos extremos de dicha cámara. La longitud de dicha cámara está comprendida entre 130 y 200 grados. Según un modo preferente, dicha cámara según la invención tiene la forma de un toro abierto; la sección de dicha cámara es un círculo. En otro modo de realización de la invención, la sección de dicha cámara puede ser ovalada o rectangular. Sea cual sea la forma de la sección de la cámara de mezcla anular, el diámetro (o la altura) d de dicha cámara será seleccionado de manera que se limite al máximo la pérdida de carga

y de manera que se limite la ocupación espacial en el reactor. Este diámetro d está comprendido entre 0,05 y 0,5 m, más preferiblemente entre 0,1 y 0,3 m, preferiblemente entre 0,15 y 0,4 m, aún más preferiblemente entre 0,15 y 0,25 m, aún más preferiblemente entre 0,1 y 0,35 m. La pérdida de carga del dispositivo de mezcla según la invención depende únicamente de la altura d de la cámara anular de mezcla. Esta pérdida de carga sigue una ley clásica de pérdida de carga y puede ser definida mediante la ecuación siguiente:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho_m V_m^2 \chi \quad (1)$$

donde ΔP es la pérdida de carga, ρ_m la densidad media de la mezcla gas+líquido en la cámara de mezcla anular, V_m la velocidad media de la mezcla gas+líquido y χ es el coeficiente de pérdida de carga asociado al dispositivo de mezcla. Este coeficiente fue medido a un valor de 2 sean cuales sean las condiciones de flujo. Según un modo preferido de realización de la invención, el diámetro será lo más pequeño posible con el fin de limitar el espacio ocupado de la cámara de mezcla anular sobre la placa de predistribución y de tener la mayor eficacia de mezcla a la salida de dicha cámara. Por estas razones, se preferirá utilizar el menor diámetro d posible que permita respetar un eventual criterio de pérdida de carga máxima. La gama preferente de pérdida de carga durante el dimensionado de dispositivos industriales es 0,05 bares < $\Delta P_{\text{máx}}$ < 0,5 bares (1 bar = 10^5 Pa).

Los fluidos tienen un movimiento rotativo (o de "swirling" según la terminología anglosajona) en la cámara de mezcla anular (9). Este movimiento favorece la mezcla y la homogeneidad en cuanto a temperatura de los fluidos de reacción y del fluido de enfriamiento.

La cámara de mezcla anular está situada en la periferia del recinto del reactor y por encima de la bandeja de predistribución en el sentido de flujo de los fluidos. Este posicionamiento de dicha cámara permite maximizar su longitud y obtener una ganancia de espacio en el reactor. Al tener la cámara de mezcla anular una forma curvada, ésta bordea el recinto del reactor a una distancia d1. Con el fin de que el dispositivo compacto de mezcla según la invención ocupe lo menos posible el espacio del reactor, la distancia d1 estará comprendida entre el 0,5% y el 25% del diámetro del reactor, preferentemente entre el 0,5% y el 10% del diámetro del reactor, aún más preferentemente entre el 1% y el 5% del diámetro del reactor.

En un modo preferido de realización, dicha cámara está en contacto directo con dicha bandeja. En esta configuración, la cámara de mezcla anular está, pues, colocada directamente sobre la bandeja de predistribución. En otro modo de realización, dicha cámara se sitúa a una distancia d2 de la bandeja de predistribución. En este caso, dicha cámara estará fijada sobre la bandeja por medios de fijación bien conocidos por el experto en la materia, tales como pies huecos. Estos pies se situarán en el sentido del flujo de la mezcla. La distancia d2 varía entre 0 y 100 mm, más preferiblemente entre 0,25 y 100 mm, más preferiblemente entre 0 y 50 mm, aún más preferiblemente entre 0,5 y 30 mm, aún más preferiblemente entre 0,5 y 5 mm.

El posicionamiento de la cámara de mezcla anular en la periferia del reactor y más arriba de la bandeja de predistribución permite también un flujo tangencial de la mezcla de los fluidos por encima de o sobre la bandeja de predistribución, según el modo de realización de la invención. Este flujo tangencial por encima de dicha bandeja permite optimizar la eficacia de la mezcla. En efecto, la mezcla entre el fluido de reacción y el fluido de enfriamiento continúa efectuándose a nivel de la bandeja de predistribución, contrariamente a los dispositivos de mezcla descritos en la técnica anterior, en los cuales no se realiza la mezcla más que en la cámara de enfriamiento. Así, la eficacia del dispositivo compacto de mezcla según la invención se ve aumentada. Se obtiene una mezcla homogénea en cuanto a temperatura y en cuanto a concentración de los dos fluidos sobre la bandeja de predistribución (11).

La bandeja de predistribución (11) situada bajo la cámara de mezcla anular (9) se compone de una placa perforada y de una o más chimeneas (13). Las chimeneas (13) se sitúan preferiblemente en el centro de la bandeja de predistribución para no entorpecer el flujo rotativo de la mezcla de fluidos sobre dicha bandeja. El diseño de esta placa está optimizado para disminuir la pérdida de carga y producir una guardia líquida de varios centímetros. A modo de ejemplo no limitativo, la bandeja de predistribución está perforada por agujeros de 10 mm según un paso triangular. La bandeja de predistribución se extiende radialmente sobre toda la superficie del reactor y está dispuesta en el plano perpendicular al eje longitudinal del recinto. Permite una primera separación de la mezcla, el líquido fluye a través de dichos agujeros y el gas fluye a través de dichas chimeneas.

Según un modo de realización de la invención, el dispositivo según la invención incluye además una bandeja de distribución que permite optimizar la distribución del fluido de reacción enfriado sobre el lecho catalítico situado más abajo. Estas bandejas de distribución son bien conocidas por el experto en la técnica. Se podrá consultar la solicitud de patente WO-A-2003/039733 para una descripción completa de dicha bandeja de distribución.

Con respecto a los dispositivos descritos en la técnica anterior, el dispositivo compacto según la presente invención ofrece las ventajas siguientes:

- una eficacia de mezcla incrementada gracias al flujo rotativo en la cámara de mezcla anular y sobre o a nivel de la bandeja de predistribución,
- una simplicidad de realización,
- una compacidad incrementada debido al emplazamiento de la cámara de mezcla anular, muy cercano a la bandeja de predistribución, y a la inyección del fluido de enfriamiento a nivel de dicha cámara.
- una baja pérdida de carga inducida debido a la ausencia de interno en la cámara de mezcla anular.

Descripción detallada de las figuras

La figura 1 ilustra el dispositivo de enfriamiento según la invención dispuesto en un reactor (1) de forma alargada a lo largo de un eje sensiblemente vertical en el cual se hace circular de arriba a abajo al menos un fluido de reacción a través de al menos un lecho de catalizador (2). El dispositivo de mezcla según la invención está dispuesto bajo el lecho de catalizador (2), con respecto al flujo del fluido de reacción en el recinto (1). La rejilla de soporte (3) sirve para llevar el lecho de catalizador (2) de manera que se despeje un espacio vacío (4) bajo éste. Este espacio vacío o espacio de recogida (4) permite recoger el flujo procedente del lecho de catalizador (2) a nivel del medio de recogida. El fluido de reacción que fluye está, por ejemplo, compuesto por una fase gaseosa y por una fase líquida. El medio de recogida (5), también llamado deflector, es una placa maciza únicamente abierta en un emplazamiento (6) para drenar el flujo del fluido hacia la cámara de mezcla anular (9). El fluido de reacción procedente del lecho (2) es así obligado en el espacio vacío (4) a pasar por el conducto de recogida vertical (7). El fluido de enfriamiento es inyectado en el conducto de recogida (7) mediante un conducto de inyección (8). En este ejemplo, la cámara de mezcla anular (9) tiene una forma tórica. Dicha cámara (9) se une por su extremo de entrada al conducto de recogida (7). El fluido de enfriamiento y el flujo del fluido de reacción procedente del lecho superior (2) se ven así forzados a dirigirse a dicha cámara (9), en la cual se mezclan y tienen un flujo rotativo. A la salida de dicha cámara, la mezcla de los fluidos fluye sobre la bandeja de predistribución (11). La cámara de mezcla anular descansa sobre la bandeja de predistribución y en la periferia del reactor. Esta posición permite ganar espacio en el reactor. La mezcla continúa realizándose gracias a un flujo rotativo de los fluidos sobre la rejilla de la bandeja de distribución. Las fases gaseosa y líquida de la mezcla se separan sobre la placa perforada (11), que está provista de una o más chimeneas centrales (13) que permiten el paso del gas. El líquido pasa por las perforaciones de la placa para formar un flujo de tipo alcachofa de ducha o lluvia. El número y el tamaño de las perforaciones de la placa perforada (11) son seleccionados de manera que siempre esté presente una cierta altura de líquido sobre la placa. El número y el tamaño de las chimeneas centrales (13) son seleccionados de manera que se optimice la separación de las fases gaseosa y líquida sobre la placa (12), manteniendo una distancia entre lo alto de las chimeneas (13) y el deflector de recogida (5) suficiente como para no generar una pérdida de carga importante en este lugar del dispositivo. El papel de la placa perforada (11) es distribuir el flujo que sale de la cámara de mezcla (9) para alimentar la bandeja distribuidora (12) de manera relativamente equilibrada. La bandeja distribuidora (12) tiene como función redistribuir las fases gaseosa y líquida en la entrada del lecho de catalizador (14) situado más abajo de esta bandeja distribuidora.

La cámara de mezcla (9) según la invención, ilustrada en la figura 2, es de forma anular, y más concretamente tiene la forma de un toro. Está formada por un tubo encorvado de tal modo que forma un arco de circunferencia, no cerrado. Dicha cámara está abierta en su extremo opuesto al conducto de recogida vertical, y la sección de abertura (10) de la cámara de mezcla anular (9) está sensiblemente situada siguiendo la dirección radial del recinto (1). Así, el flujo de los fluidos que salen de la sección de abertura (10) es proyectado en la dirección tangencial de la sección del recinto (1). Esta disposición permite mantener un flujo rotativo de la mezcla sobre la bandeja de predistribución (11). El diámetro y la longitud de la cámara de mezcla anular (9) son seleccionados de manera que se garantice una buena mezcla entre el flujo procedente del lecho (2) y el fluido de enfriamiento, limitando la pérdida de carga en el conducto de recogida y la ocupación de espacio en el reactor.

En los ejemplos que se dan a continuación, se emplean indistintamente los términos "toro" o "cámara de mezcla" o "cámara de mezcla anular" para designar la cámara de mezcla anular según la invención.

Ejemplo 1: Análisis del flujo de los fluidos a nivel de la cámara anular según la invención

Se simula el flujo de dos fluidos en la cámara de mezcla anular según la invención utilizando un programa de hidráulica (Fluent 6.3, desarrollado por la sociedad ANSYS Inc, Canonburg, EE.UU.). Las simulaciones numéricas se refirieron al análisis de los fenómenos de mezcla:

- (a) en la cámara de mezcla anular,
- (b) a la salida de dicha cámara.

Se presentan las características de las diferentes cámaras de mezcla anulares estudiadas y las condiciones experimentales de simulación en la tabla 1 que se muestra a continuación.

Para efectuar estas simulaciones, nos ponemos en el caso más desfavorable, es decir, en el caso en que los fluidos (agua líquida y nitrógeno gaseoso) no se mezclan en absoluto a la entrada del toro. Se impone, pues, al programa la configuración siguiente: los fluidos son alimentados a dos temperaturas claramente distintas T1 y T2 a la entrada del

toro, de tal manera que la mitad de la sección de entrada del toro está a la temperatura T1 y la otra mitad a la temperatura T2.

Se resumen las características de las cámaras de mezcla anulares estudiadas en la tabla 1:

Tabla 1

	Diámetro del toro (m)	Longitud del toro (m)	Caudal de la fase líquida (m ³ .h ⁻¹)	Caudal de la fase gaseosa (m ³ .h ⁻¹)	Temperatura T1 (K)	Temperatura T2 (K)
Toro nº 1	0,1	1	22,62	5,65	273	323
Toro nº 2	0,1	1	11,88	59,38	273	323
Toro nº 3	0,1	1	5,94	25,45	273	323
Toro nº 4	0,3	3	53,44	229,02	273	323

Se utiliza la distribución de temperaturas calculada a la salida del toro mediante el programa de simulación para estimar la eficacia de mezcla del toro. Esta eficacia viene definida por la relación siguiente:

$$\eta = 1 - \frac{2\sigma(T)}{\Delta T_{MÁX}} \quad (2)$$

donde η es la eficacia de la mezcla, σ es la desviación típica de las temperaturas y $\Delta T_{máx}$ la desviación máxima entre las temperaturas, o sea, el valor absoluto de (T2-T1). Las múltiples simulaciones pusieron en evidencia que la mezcla teórica en el toro sigue globalmente una ley de tipo:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{x}{1.5Ud}\right) \quad (3)$$

donde x es la distancia lineal recorrida en el toro, U es la velocidad del líquido en el toro y d el diámetro del toro.

Se presentan los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones en la tabla 2 que se muestra a continuación. Se calculan las eficacias de mezcla a media longitud de la cámara de mezcla (U2) y a la salida de la cámara de mezcla.

Tabla 2

Eficacia de la mezcla	Toro nº 1	Toro nº 2	Toro nº 3	Toro nº 4
Media longitud de la cámara de mezcla	99%	85%	80%	92%
A la salida de la cámara de mezcla	99,9%	92%	90%	99%

La eficacia de mezcla (según la ecuación 1) generada a media longitud de la cámara de mezcla anular o a la salida de dicha cámara es superior al 80%. En ciertas configuraciones de cámara, esta eficacia es incluso igual al 99%. Ello significa que se obtiene una muy buena mezcla de fluidos en la cámara según nuestra invención y una excelente homogeneización de los fluidos en cuanto a temperatura.

Ejemplo 2: Análisis del flujo de los fluidos a nivel de la bandeja de predistribución según la invención

Se busca determinar la eficacia de la mezcla generada en el dispositivo de mezcla según la invención a nivel de la bandeja de predistribución. Para ello, se simula el flujo de los fluidos sobre la bandeja de predistribución con el programa de hidráulica (Fluent 6.3, desarrollado por la sociedad ANSYS Inc, Canonburg, EE.UU.). Se resumen las características de los diferentes dispositivos de mezcla y las condiciones experimentales estudiadas en la tabla 3. Se realizan las simulaciones en flujo monofásico, es decir, en ausencia de fase gaseosa. Son, pues, representativas del caso en el que el fluido de enfriamiento es líquido, y donde sólo deben mezclarse las fases líquidas.

Tabla 3

	Diámetro del toro (m)	Longitud del toro (° grados)	Diámetro del reactor (m)	Velocidad de la fase líquida (m/s)	Temperatura T1	Temperatura T2	Altura de líquido sobre la bandeja de predistribución en m
Toro nº 1	0,1	90°	0,48	0,5	273	323	0,12
Toro nº 2	0,1	90°	0,48	1	273	323	0,12
Toro nº 3	0,1	90°	0,48	0,2	273	323	0,12
Toro nº 4	0,1	90°	0,48	2	273	323	0,12
Toro nº 5	0,1	90°	0,48	0,5	273	323	0,05
Toro nº 6	0,1	90°	0,48	1	273	323	0,05
Toro nº 7	0,3	90°	2,5	1	273	323	0,15

5 Para estudiar la eficacia de mezcla a nivel de la bandeja de predistribución en el dispositivo según la invención, se divide la sección del toro en dos zonas de igual superficie: una que está a una temperatura T1 y otra que está a una temperatura T2. Esta condición experimental corresponde al caso más desfavorable, es decir, al caso en que no ha habido mezcla de los dos fluidos en la cámara de mezcla anular. Se mide, en estas condiciones, únicamente la eficacia del flujo rotativo sobre la bandeja de predistribución.

10 Se presentan los resultados obtenidos en la tabla 4.

Eficacia de la mezcla	Toro nº 1	Toro nº 2	Toro nº 3	Toro nº 4	Toro nº 5	Toro nº 6	Toro nº 7
Sobre la bandeja de predistribución	91%	90%	96%	88%	82%	85%	87%

15 La eficacia de mezcla (según la ecuación 1) generada a la salida del toro sobre la placa de predistribución es siempre superior o igual al 80%. Ello significa que el flujo rotativo generado participa de una manera importante en la mezcla de los fluidos en la gama de funcionamiento estudiada por simulación.

Conclusión de los ejemplos 1 y 2:

20 Considerando que las eficacias de mezcla en el toro y a la salida del toro sobre la bandeja de predistribución pueden ser acumuladas, se expresa la eficacia total de mezcla del dispositivo según la invención mediante la fórmula siguiente:

$$\eta_{\text{total}} = 1 - (1 - \eta_{\text{swirl}}) * (1 - \eta_{\text{tore}}) \quad (4)$$

25 La figura 3 ilustra la acumulación de las eficacias de mezcla. Si la eficacia de mezcla en el toro (η_{tore}) es del 50% y la eficacia de mezcla a la salida del toro (η_{swirl}) sobre la bandeja de predistribución del 80%, se obtiene una eficacia global de mezcla superior al 90%. Así, según el dispositivo de la invención, no es necesario tener una eficacia de mezcla de los fluidos optimizada en la cámara de mezcla anular, contrariamente a los dispositivos de mezcla descritos en la técnica anterior. El dispositivo de mezcla según la invención presenta una eficacia elevada de mezcla de los fluidos gracias a la combinación de la cámara de mezcla anular situada sobre la bandeja de predistribución y de la bandeja de predistribución. Esta disposición permite una continuidad del flujo rotativo de los fluidos sobre la bandeja de predistribución. De ello resulta que la mezcla de los fluidos continúa efectuándose sobre dicha bandeja.

35 Ejemplo 3: Ensayos sobre maqueta fría

A modo de ejemplo no limitativo, se realizaron mediciones de eficacia de mezcla con un dispositivo de mezcla según la invención dispuesto en reactor. Las condiciones experimentales son las siguientes:

40 Se divide un reactor de 480 mm de diámetro en dos sectores idénticos en su parte superior. Los dos sectores son alimentados de manera idéntica con gas (aire) y con líquido (agua). La altura de los sectores es de 500 mm. Los dos sectores son alimentados mediante fluidos a temperaturas diferentes T1 (283 K) y T2 (330 K). Bajo el lecho granular, llevado por la rejilla de soporte, está dispuesto el deflector de recogida. La distancia entre la rejilla de soporte y el deflector de recogida es igual a 100 mm. El conducto de recogida vertical tiene una altura de 150 mm y un diámetro de 100 mm. Las características estructurales de los diferentes toros de mezcla estudiados son presentadas en la tabla 5. El tubo de inyección del fluido de enfriamiento (agua) tiene un diámetro de 20 mm. La bandeja de predistribución está provista de una chimenea central de 4 cm de diámetro y 25 cm de altura. La bandeja de predistribución está perforada por agujeros de 1 cm de diámetro según un paso triangular de 6,4 cm. Bajo la bandeja de predistribución se sitúa una bandeja distribuidora de tipo bandejas con chimeneas perforadas. Más abajo de la bandeja de distribución, en el sentido de flujo de los fluidos, se sitúa un lecho de perlas inertes

con el fin de representar un lecho catalítico. A 3 cm por debajo de las primeras capas de perlas inertes, se sitúan 6 termopares repartidos sobre la sección de columna. Se calcula la eficacia de la mezcla del dispositivo de mezcla según la invención a partir de las lecturas de temperaturas proporcionadas por los termopares, según la ecuación (2). Para ello, se calcula previamente la desviación típica de las temperaturas leídas.

Se realizan las pruebas para las condiciones de caudal siguientes:

Caudal de líquido que sale del lecho superior: $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Caudal de gas que sale del lecho superior: $65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Caudal de líquido de enfriamiento: $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Se presentan los resultados obtenidos en la tabla 5.

	Diámetro del toro en mm	Longitud del toro (° grados)	Eficacia térmica medida global	Eficacia teórica de mezcla en el toro	Eficacia teórica total estimada por la ecuación (4)
Ensayo 1	50	180°	99,8%	50%	90%
Ensayo 2	100	180°	99,95%	74%	95%
Ensayo 3	50	270°	99,7%	63%	93%
Ensayo 4	100	90°	99,85%	50%	90%

Se calcula la eficacia teórica utilizando una eficacia de mezcla del 80% sobre la bandeja de predistribución.

Entre todas las configuraciones estudiadas, la eficacia térmica medida global es, en todos los casos, superior al 99,7%, debiéndose la desviación del 100% al ruido de la medida (no significativo). Estos resultados muestran que, incluso para toros de enfriamiento cuya eficacia teórica de mezcla fue calculada al 50% según la ecuación (2), la mezcla rotativa a la salida del toro sobre la bandeja de predistribución permite alcanzar rendimientos próximos al 100% de mezcla. Así, para realizar el dimensionado de los dispositivos de enfriamiento a escala industrial, se buscará una eficacia de mezcla teórica del 50% relativa al toro de enfriamiento, lo que permitirá alcanzar una eficacia global próxima al 100%.

Ejemplo 4

Se da un ejemplo de dimensionado del dispositivo de mezcla. Se basa en un diámetro de recinto de reacción de 2,5 m. La densidad de la fase líquida es de $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ y la del gas es de $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Los caudales de líquido y de gas que salen del primer lecho catalítico son respectivamente de $0,11$ y $0,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. El caudal de líquido de enfriamiento inyectado en el conducto de recogida vertical mediante un medio de inyección es de $0,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La altura del espacio de recogida (H1) es de 0,1 m para generar una pérdida de carga despreciable en esta zona. El conducto de recogida vertical tiene un diámetro de 0,4 m. El medio de inyección del fluido de enfriamiento tiene un diámetro de 0,12 m. El diámetro de la cámara de mezcla anular es de 0,3 m, para una longitud lineal de 3,1 m. El espacio entre el recinto del reactor y la cámara de mezcla anular es de 0,03 m. Cuatro chimeneas centrales están dispuestas en cuadrado en medio de la placa perforada de la bandeja de predistribución. Estas chimeneas tienen un diámetro de 0,3 m y una altura de 0,25 m. La bandeja de predistribución está perforada por agujeros de 1 cm de diámetro según un paso de perforación triangular de 6,4 cm. Bajo la placa perforada se sitúa una bandeja distribuidora con chimeneas. La distancia entre la placa perforada de predistribución y la bandeja distribuidora es de 0,25 m.

Estimación de los rendimientos

La pérdida de carga del dispositivo de enfriamiento es estimada según la ecuación (3) en $16\,16\,000 \text{ Pa}$. La altura de guardia líquida sobre la bandeja perforada es de 15 cm, conforme a las observaciones realizadas sobre la maqueta fría. El dispositivo según la invención permite asegurar una buena mezcla a la salida del toro de enfriamiento. La eficacia teórica del toro de enfriamiento es, según la ecuación (2), del 54%. Por los cálculos y mediciones realizadas sobre maqueta fría, esto es suficiente para asegurar una eficacia total del dispositivo próxima al 100%.

Espacio ocupado por el dispositivo

El espacio ocupado por el dispositivo según la invención, delimitado por la rejilla de soporte del lecho de catalizador (elemento 3 en la figura 1) y por la bandeja de predistribución (elemento 11 en la figura 1) es de aproximadamente 0,5 m. Es de aproximadamente 0,75 m si se le añade el espacio ocupado por la bandeja de distribución (elemento 12) situada por debajo de la placa de predistribución.

El dispositivo de mezcla descrito en la solicitud de patente FR-A-2.824.495 utiliza igualmente una rejilla de soporte del lecho de catalizador y una placa de predistribución situada justo por encima de una bandeja de distribución. El espacio ocupado por este dispositivo, calculado entre la rejilla de soporte del lecho catalítico y la placa de

predistribución, es de aproximadamente 0,88 m.

- 5 A modo de comparación, el dispositivo de mezcla según la invención permite una ganancia de espacio del 76% con respecto al dispositivo descrito en la solicitud FR-A-2.824.495. Los 0,38 m que se han ganado con respecto al dispositivo de la técnica anterior pueden ser utilizados en los lechos de catalizador. Así, el dispositivo compacto de mezcla según la invención permite mejorar también los rendimientos de un reactor mediante un aumento de la cantidad de catalizador en los lechos catalíticos.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo compacto de mezcla de fluidos en un reactor con flujo descendente que comprende:

- 5 - al menos un medio de recogida sensiblemente horizontal (5) provisto de un conducto de recogida vertical (7) para recibir los fluidos;
- una cámara de mezcla anular (9) situada más abajo del medio de recogida (5) en el sentido de circulación de los fluidos, teniendo dicha cámara un extremo de entrada directamente unido a dicho conducto de recogida (7) y un extremo de salida (10) para el paso de los fluidos, estando situado dicho extremo de salida (10) según la
- 10 dirección radial del recinto del reactor (1), estando situada la cámara de mezcla anular (9) en la periferia del recinto del reactor (1) y estando comprendida la longitud de dicha cámara que se define por el ángulo formado por los planos que pasan por los dos extremos de dicha cámara entre 130 y 200 grados, y
- al menos un medio de inyección (8) situado en dicho conducto de recogida, situándose dicho medio de inyección a nivel del extremo de entrada de la cámara de mezcla anular (9);
- 15 - una bandeja de predistribución horizontal (11) que tiene al menos una chimenea (13), estando situada dicha bandeja más abajo de dicha cámara (9) a una distancia d2, en el sentido de circulación de los fluidos.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la distancia d2 está comprendida entre 0 y 100 mm.

20 3. Dispositivo según la reivindicación 1 a 2, **caracterizado por que** la distancia d2 es igual a 0 mm, estando la cámara de mezcla anular (9) en contacto con la bandeja de predistribución (11).

 4. Dispositivo según la reivindicación 1 a 2, **caracterizado por que** la distancia d2 está comprendida entre 0,25 y 100 mm, preferentemente entre 0,5 y 5 mm.

25 5. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones, **caracterizado por que** dicha cámara está situada a una distancia d1 del recinto del reactor, variando la distancia d1 del 0,5% al 25% del diámetro del reactor.

30 6. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el diámetro d de dicha cámara está comprendido entre 0,05 y 0,5 m, preferentemente entre 0,1 y 0,3 m, aún más preferentemente entre 0,15 y 0,25 m.

 7. Utilización del dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes para la realización de reacciones exotérmicas.

35 8. Reactor (1) de forma alargada a lo largo de un eje sensiblemente vertical en el que se hace circular de arriba a abajo de dicho reactor (1) al menos un fluido de reacción a través de al menos un lecho de catalizador (2), teniendo dicho reactor más abajo del lecho de catalizador (2) en el sentido de circulación de dicho fluido de reacción al menos un dispositivo de mezcla según una de las reivindicaciones 1 a 6.

40 9. Reactor según la reivindicación 8, **caracterizado por que** incluye además una bandeja de distribución (12) sensiblemente horizontal situada más abajo del dispositivo de mezcla en el sentido de circulación de los fluidos.

45 10. Reactor según una de las reivindicaciones 8 ó 9, **caracterizado por que** incluye además un segundo lecho de catalizador (14) situado más abajo del dispositivo de mezcla y de la bandeja de distribución.

 11. Utilización de un reactor según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10 para la realización de reacciones exotérmicas.

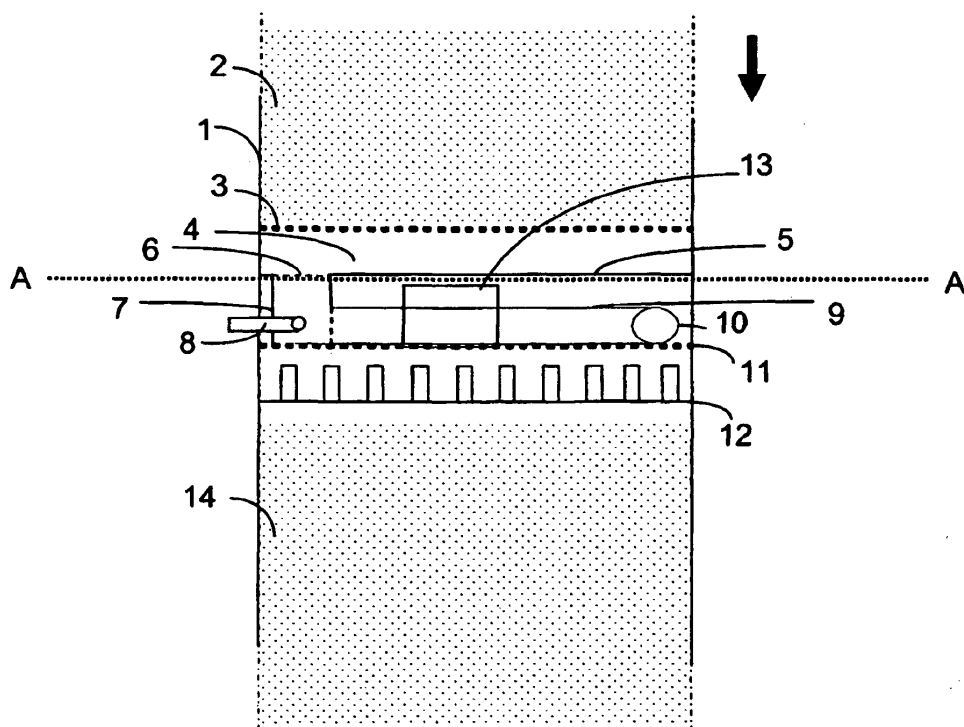


FIG. 1

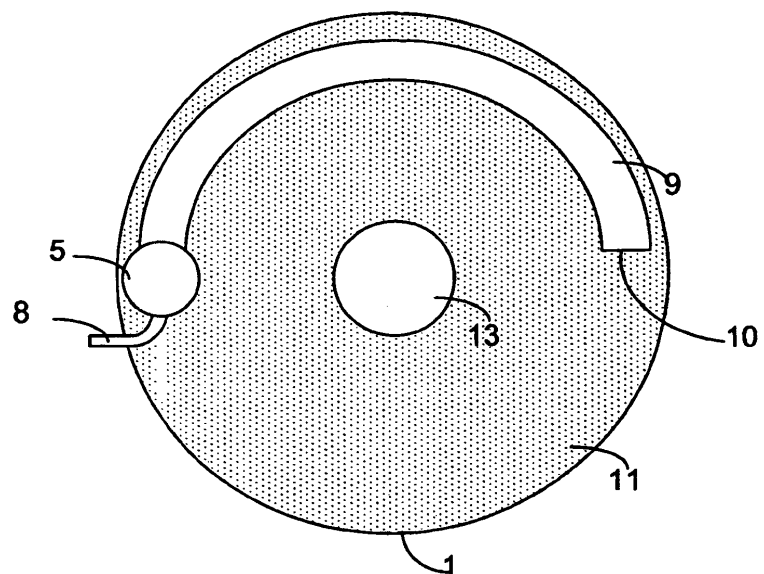


FIG. 2

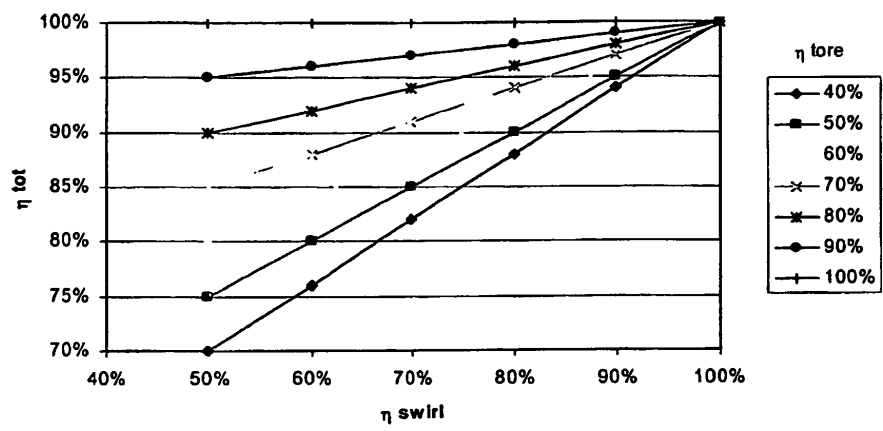


FIG. 3