

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 241 645**

21 Número de solicitud: 201990016

51 Int. Cl.:

B01F 5/06 (2006.01)

B01J 19/00 (2006.01)

B01J 19/24 (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

09.04.2018

30 Prioridad:

07.04.2017 PT 110019

04.07.2017 EP 17179636

43 Fecha de publicación de la solicitud:

19.02.2020

71 Solicitantes:

PETROGAL, S.A. (100.0%)
Rua Tomas da Fonseca Torre C
1600-209 LISBOA PT

72 Inventor/es:

BRITO LOPES, José Carlos;
GOMES DE QUEIROZ DIAS, Madalena Maria;
DOS SANTOS COSTA, Marcelo Filipe ;
NOGUEIRA DOS SANTOS, Ricardo Jorge y
DE MOURA TEIXEIRA, Carlos André

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

54 Título: **DISPOSITIVO INTERCAMBIADOR DE CALOR DE RED, MÉTODO Y USOS DEL MISMO**

ES 1 241 645 U

DESCRIPCIÓN**DISPOSITIVO INTERCAMBIADOR DE CALOR DE RED, MÉTODO Y USOS DEL MISMO****5 Campo técnico**

Esta invención se refiere a un reactor/mezclador químico y a un método respectivo para la transferencia de calor continua entre fluidos que fluyen en una placa de red de mezcla meso- o micro-estructurada, designada de aquí en adelante como placa mezcladora de red,
10 y a las placas de intercambiador de calor que son adyacentes a dicha placa de red.

La presente descripción permite montar conjuntos de dichas placas en módulos con cualquier número de placas instaladas y de placas en funcionamiento, lo que permite velocidades de producción flexibles y dinámicas. La placa de red es un dispositivo con
15 aplicación en la mezcla de dos o más fluidos o en el contacto de fluidos con un catalizador y se utiliza generalmente para procesos químicos. La reacción química, la mezcla de fluidos y el cambio de fase de materiales siempre implican una liberación o absorción de calor y la guía de temperatura es a menudo primordial. El control de la temperatura en el interior de dicha placa de red se realiza mediante transferencia de calor a placas intercambiadoras de
20 calor adyacentes utilizando un medio caliente en el interior de dicha placa, por ejemplo, vapor de agua, o un medio frío tal como, por ejemplo, un refrigerante. Este dispositivo y método de transferencia de calor son de aplicación, por ejemplo, en el procesamiento de gas a líquido o sólido, o en reacciones químicas catalíticas. El campo de aplicación preferido para esta invención es en los procesos y aparatos químicos.

25

Antecedentes de la invención

Los mezcladores estáticos se han utilizado en aplicaciones industriales para realizar operaciones continuas y se han convertido en un equipo estándar desde la década de los
30 70, como alternativa a los mezcladores mecánicos, para mezclar fluidos miscibles o inmiscibles, homogeneizar partículas sólidas, y para mejorar la transferencia de calor y masa. Este tipo de mezcladores se aplica en una amplia gama de procesos industriales en las industrias farmacéutica, petroquímica, alimentaria, cosmética, biotecnología, agua/aguas residuales, papel y polímeros. La eficacia de los mezcladores estáticos para proporcionar
35 una buena mezcla de fluidos miscibles o para mejorar las tasas de transferencia de calor y

masa proviene de su capacidad para inducir una mezcla transversal y para poner elementos fluidos en las proximidades. Una de las características más interesantes de estos mezcladores es que los productos se mezclan únicamente mediante energía de flujo, por lo que no requieren energía externa excepto la necesaria para bombear los fluidos a través del mezclador; además, los mezcladores estáticos suelen requerir poco espacio, bajo coste de equipo y sin partes móviles. Sin embargo, el uso de mezcladores estáticos normalmente origina un aumento de la caída de presión total del sistema, así como un mayor potencial de ensuciamiento, una relativa dificultad de limpieza y un mayor coste.

10 En muchos procesos/reacciones químicas un requisito principal es un control efectivo y preciso de las temperaturas de los fluidos en funcionamiento. Esto es particularmente crítico para reacciones altamente exotérmicas o endotérmicas, en las que las tasas de transferencia de calor se vuelven cruciales. La mayoría de los dispositivos de intercambio de calor están diseñados para funcionar en régimen turbulento, ya que se considera
15 comúnmente que el régimen laminar no es eficiente desde el punto de vista de la transferencia de calor. Algunos autores han propuesto la advección caótica como medio para mejorar la transferencia de calor en flujos laminares, tal como sucede en los mezcladores estáticos. La mejora de la transferencia de calor de la sección transversal se debe a la aparición de flujos transversales secundarios, mejorando la mezcla transversal asociada a la división de flujo, favorecido por la geometría del mezclador estático. Esto tiene
20 como resultado la eliminación virtual de capas límite que forman la resistencia dominante a la transferencia de calor en el flujo de la tubería.

La mejora de la transferencia de calor causada por el uso de mezcladores estáticos no es un
25 tema nuevo, y varios autores ya han descrito los beneficios del uso de diferentes tipos de mezcladores estáticos, reportando el coeficiente de transferencia de calor sin dimensiones, el número de Nusselt, en forma de correlaciones útiles para el diseño de equipos de intercambio de calor. Algunos autores han demostrado que los coeficientes de transferencia de calor pueden mejorarse 2-3 veces en mezcladores estáticos Kenics que funcionan en
30 régimen laminar mientras que, para los mezcladores estáticos Sulzer SMX, la tasa de transferencia de calor puede mejorarse por un factor de 5 si se compara con la de un tubo vacío. En Thakur RK, Vial C, Nigam KDP, Nauman EB, Djelveh G. Static Mixers in the Process Industries - A Review. *Chem Eng. Res. Des.* 2003;81(7):787-826 se da una primera recopilación sobre correlaciones para el número de Nusselt obtenidas experimentalmente en
35 tubos que contienen mezcladores estáticos disponibles en el mercado. En el mercado hay

disponibles intercambiadores de calor que incluyen elementos de mezcla estáticos y se utilizan actualmente en la industria.

5 Estos hechos se describen para ilustrar el problema técnico que se aborda en la presente descripción.

Descripción general de la invención

10 La presente descripción permite montar conjuntos de dichas placas en módulos con cualquier número de placas instaladas y de placas en funcionamiento, lo que permite unas tasas de producción flexibles y dinámicas. La placa de red es un dispositivo con aplicación en la mezcla de dos o más fluidos o en el contacto de fluidos con un catalizador y se utiliza generalmente para procesos químicos. La reacción química, la mezcla de fluidos y el cambio de fase de materiales siempre implican la liberación o absorción de calor y la guía de temperatura es a menudo primordial. El control de la temperatura en el interior de dicha placa de red se realiza mediante la transferencia de calor a placas intercambiadoras de calor adyacentes utilizando un medio caliente en el interior de dicha placa, por ejemplo, vapor de agua, o un medio frío tal como, por ejemplo, un refrigerante. Este dispositivo y método de transferencia de calor son de aplicación, por ejemplo, en el procesamiento de gas a líquido o sólido, o en reacciones químicas catalíticas. El campo de aplicación preferido para esta invención es en los procesos y aparatos químicos.

25 Un aspecto de la presente descripción se refiere a un reactor químico para procesos exotérmicos o endotérmicos que comprenden una pila de una placa mezcladora de red para llevar a cabo la reacción y un placa intercambiadora de calor, en el que la placa mezcladora de red comprende una matriz de cámaras, estando interconectada cada cámara a través de por lo menos por dos canales a por lo menos dos otras cámaras, para mezclar y dividir uno o más fluidos de reacción secuencialmente a través de dichas cámaras, en el que la placa intercambiadora de calor comprende un canal para el flujo de un termofluido, en el que el canal de la placa intercambiadora de calor y las cámaras de la placa mezcladora de red están alineados para transferir calor entre dichas cámaras y dicho canal, en el que cada cámara del placa mezcladora de red es una cámara esférica o cilíndrica, que comprende dos o tres canales y dos o tres aberturas para conexión a dichos canales.

El reactor químico para procesos exotérmicos o endotérmicos de la presente descripción mantiene las grandes superficies específicas de los micro-reactores y, además, aumenta simultáneamente las capacidades específicas de transferencia de calor, principalmente en los dispositivos meso-estructurados.

5

En una realización para mejores resultados, las cámaras y canales de la mezcladora de red pueden tener una profundidad de entre 0,25 mm y 10 mm.

Para obtener mejores resultados, los diámetros de las cámaras del mezclador de red pueden ser entre 1 mm y 50 mm y la anchura o los diámetros de los canales entre 0,25 mm y 10 mm.

En una realización para mejores resultados, el número de Reynolds del flujo del mezclador de red (Re) puede ser mayor de 100; preferiblemente entre 125 y 1000. El número de Reynolds (Re) se define en los canales como $Re=(u \varphi)/\nu$, donde ν es la viscosidad cinemática del fluido, φ es la anchura o el diámetro de los canales y u es la velocidad de flujo promedio en el espacio en los canales.

Para obtener mejores resultados, el reactor/mezclador puede comprender dos placas intercambiadoras de calor en las que la placa mezcladora de red esté apilada entre las placas intercambiadoras de calor.

Para obtener mejores resultados, por lo menos dos de los canales interconectados a cada cámara de la placa mezcladora de red pueden ser oblicuos respecto a la dirección general del flujo de fluido en el interior de la placa mezcladora de red.

En una realización para mejores resultados, el canal de la placa intercambiadora de calor puede ser un canal sinuoso.

En una realización para obtener mejores resultados, el canal de la placa intercambiadora de calor puede comprender dos o más cavidades interconectadas.

En una realización para obtener mejores resultados, las cavidades pueden estar formadas por deflectores.

35

En una realización para obtener mejores resultados, la placa intercambiadora de calor comprende una o más aberturas pasantes para el flujo de fluido hacia la placa mezcladora de red o desde la misma, o hacia y desde la misma.

5 En una realización para mejores resultados, el reactor/mezclador de la presente descripción puede comprender una pluralidad de dichas placas mezcladoras de red y una pluralidad de dichas placas intercambiadoras de calor de manera que cada placa mezcladora de red quede colocada contiguamente entre dos placas intercambiadoras de calor.

10 En una realización para mejores resultados, las placas pueden comprender unas entradas y salidas laterales.

En una realización para mejores resultados, las placas pueden comprender unas entradas superiores y unas salidas inferiores que se conectan con placas contiguas.

15 En una realización para mejores resultados, el reactor/mezclador puede comprender una o más placas de tapa para proporcionar estanqueidad a dichos canales y/o cámaras.

20 En una realización para mejores resultados, cada cámara de la placa mezcladora de red es una cámara esférica o cilíndrica, que comprende dos o tres canales y dos o tres aberturas para la conexión a dichos canales.

La presente descripción se refiere a un método y al reactor/mezclador para transferencia de calor en procesos en los que un fluido o varios fluidos experimentan una transformación, tal como una reacción química o un cambio de fase, que libera o absorbe calor. En tales casos, la temperatura de los fluidos varía mediante un proceso endotérmico o exotérmico y, por lo tanto, debe suministrarse o extraerse calor del proceso para controlar los fluidos en un rango de temperatura adecuado. Dichos procesos tienen lugar en placas de red meso- o micro-estructuradas que consisten en placas con un conjunto de cavidades formadas conectadas entre sí, donde dichas cavidades presentan una forma substancialmente cilíndrica o esférica y se designan, en lo sucesivo, como cámaras de mezcla. Dichas cámaras de mezcla están conectadas entre sí por unos canales, substancialmente de forma prismática o cilíndrica. Los fluidos fluyen a través de esta red de cámaras de mezcla y canales conectados entre sí. El flujo de uno o más canales va hacia una cámara de mezcla donde se mezclan fluidos de diferentes canales. El fluido o fluidos mezclados fluyen fuera de la citada cámara de mezcla

25
30
35

por uno o más canales que dividen el flujo de salida a más de una cámara de mezcla curso
abajo. Las cámaras de mezcla en la primera fila reciben los fluidos de unas unidades de
distribución a través de canales de entrada simples o múltiples. Las cámaras de mezcla de
la última fila pueden tener uno o varios puertos de salida. La figura 2 muestra una posible
5 realización de una placa mezcladora de red (o mezclador de red). En una realización
preferida, dicha placa puede ser el dispositivo mezclador estático que se muestra en los
ejemplos y dibujos de EP1720643 B.

En una realización, las placas mezcladoras de red están conectadas a por lo menos una
10 placa intercambiadora de calor adyacente o más típicamente cada placa de red está apilada
entre dos placas intercambiadoras de calor. Las placas intercambiadoras de calor tienen una
o más cavidades internas por donde fluye un fluido caliente o frío para la transferencia de
calor con los fluidos de la placa de red. Los fluidos para la transferencia de calor funcionan
por diferencia de temperatura en el interior de la placa de red y también pueden funcionar
15 por cambio de fase, por ejemplo, por condensación para fines de calentamiento de la placa
de red o por evaporación para la refrigeración de dicha placa. Estos fluidos que fluyen a
través de la placa intercambiadora de calor con fines de transferencia de calor se
denominan en lo sucesivo termofluidos. Las cavidades en las placas intercambiadoras de
calor tienen un puerto, o más de uno, para la entrada y salida de dichos termofluidos. Dichas
20 cavidades pueden estar conectadas directamente a los puertos de entrada y salida o
conectadas entre sí a cavidades adyacentes en la placa. Cada cavidad puede ser una
estructura paralela hueca con o sin deflectores. Las placas intercambiadoras de calor
pueden tener ranuras de conexión destinadas al paso de tuberías o que actúen como
canales que conectan las corrientes de alimentación a puertos de entrada y puertos de
25 salida de la placa de red. Dichas ranuras de conexión están aisladas de las cavidades por
donde fluye el termofluido. Además, dichas ranuras de conexión pueden estar diseñadas
para distribuir fluido a más de una cámara de entrada o para recoger fluido de varios puertos
de salida de las cámaras de descarga de la placa de red.

30 En una realización, cada conjunto de una placa de red y una o dos placas intercambiadoras
de calor se apilan de modo que las cavidades de las placas intercambiadoras de calor están
alineadas para transferir calor con las cámaras y los canales de la placa de red. Esta
disposición particular se denominará en lo sucesivo la unidad básica. Dependiendo de la
disposición de las placas intercambiadoras de calor, es posible que se necesite una o más
35 tapas para la unidad básica. Esta invención presenta una estructura modular que permite el

apilamiento de múltiples unidades básicas. El apilamiento de las unidades requiere que las tuberías de conexión presenten una disposición diferente a la de la figura 1, donde dichas tuberías entran por la parte superior de las tapas de intercambio de calor, mientras que en las unidades apiladas estas tuberías tienen que entrar lateralmente, excepto cuando dichas tuberías conectan intercambiadores de calor de diferentes unidades básicas o son para las unidades básicas en la parte superior o inferior de la pila. Dichas unidades básicas funcionan simultáneamente, la serie de unidades básicas operativas se utiliza para regular la tasa de producción, lo que permite establecer tasas de producción flexibles que pueden regularse dinámicamente.

10

Descripción de los dibujos

Para una comprensión más fácil de la invención se incluyen algunas figuras, las cuales representan unas realizaciones preferidas de la invención, aunque no pretenden limitar el objeto de la presente invención.

15

Figura 1: Disposición de la unidad básica del dispositivo intercambiador de calor [1] con un conjunto de una placa de red [2] apilada con dos placas intercambiadoras de calor, una en la parte superior [3] y otra en la parte inferior [4] y respectivas tapas de dichas placas intercambiadoras de calor [5 y 6]. Esta realización particular tiene dos entradas para introducir fluidos en la placa de red, un canal de entrada [7] introduce fluido en dos cámaras de mezcla mientras que una cámara de entrada [8] introduce fluido en otras dos cámaras de mezcla. La salida [9] de la placa de red es el tubo en la parte inferior del dispositivo. El termofluido entra en la placa superior del intercambiador de calor desde el puerto [10] y sale por el puerto [11].

25

Figura 2: Placa mezcladora de red [2] con cámaras de mezcla cilíndricas [22] y canales prismáticos [23] que conectan dichas cámaras de mezcla [22] e identificación de posibles ubicaciones para la entrada de fluidos [24] en la primera fila de cámaras de mezcla. La placa de red [2] en el dibujo es una matriz de cinco líneas de cámaras de mezcla y cuatro cámaras de mezcla [22] en la primera línea.

30

Figura 3: Cámara de mezcla cilíndrica de diámetro D [22] con dos cámaras prismáticas de entrada con longitud l y anchura d [23-1] y dos canales prismáticos de salida con las mismas

dimensiones [23-2]. Dicha cámara de mezcla [22] y canales prismáticos [23-1 y 23-2] presentan una profundidad ω .

Figura 4: Placa intercambiadora de calor [3] con una posible realización de la cavidad [41] para la circulación del fluido portador de calor e identificación de la entrada y salida de la cámara [42] y [43] y posible configuración para conductos hidráulicos, unas ranuras de conexión [44], de las tuberías de entrada y salida a la placa de red. Esta placa tiene unos deflectores [45] en la cavidad para la circulación del termofluido [2].

Figura 5: Área de superficie específica para depósitos agitados revestidos [51], depósitos agitados con serpentines [52], reactores tubulares revestidos [53], depósitos agitados con intercambiadores de calor externos [54], microrreactores [55] y el reactor de la presente descripción [56].

Figura 6: Capacidad específica de transferencia de calor para depósitos agitados revestidos [51], depósitos agitados con serpentines [52], reactores tubulares revestidos [53], depósitos agitados con intercambiadores de calor externos [54], microrreactores [55] y el reactor de la presente descripción [56].

Figura 7: Capacidad específica de transferencia de calor de equipo típico de intercambiadores de calor, en particular capacidad de transferencia de calor para depósitos agitados revestidos [51], depósitos agitados con serpentines [52], reactores tubulares revestidos [53], depósitos agitados con intercambiadores de calor externos [54], microrreactores [55] y el reactor de la presente descripción [56].

Descripción detallada

La presente descripción se refiere a un dispositivo modular que consiste en placas de red y placas intercambiadoras de calor. Las placas de red consisten en una matriz de cámaras que están conectadas por unos canales donde el flujo de uno o más fluidos se mezcla y se divide secuencialmente. Las placas de red están confinadas por placas intercambiadoras de calor que tienen una cámara interior donde se introduce una fuente fría o caliente. Dichas placas de red y placas de intercambiadoras de calor están diseñadas para tener la opción de montarse como módulos de unidades de procesamiento más grandes.

En una realización, las placas de red pueden ser el mezclador estático descrito en el EP 1 720 643 B, concretamente, en los dibujos y ejemplos.

5 En una realización, una unidad básica donde se introducen dos fluidos en la placa de red: un gas y un líquido. La placa de red tiene cinco líneas de cámaras de mezcla cilíndricas y en las líneas impares el número de cámaras es de cuatro y en las líneas pares el número de cámaras es de tres. Dichas cámaras de mezcla están conectadas mediante unos canales prismáticos. El gas se introduce en las cámaras de mezcla con número par de la primera línea, mientras que el líquido se introduce en las cámaras de mezcla con número impar de la
10 primera línea. El gas es absorbido por el líquido que libera calor el cual se extrae mediante, por ejemplo, agua fría, que fluye por el interior de dos placas intercambiadoras de calor adyacentes a la placa de red. El líquido se introduce en las cámaras de mezcla desde una ranura de conexión en la placa superior del intercambiador de calor que está conectada a los puertos de entrada de las cámaras de mezcla mediante tubos cilíndricos. El gas se
15 introduce en las cámaras de mezcla desde una ranura de conexión en la placa inferior del intercambiador de calor que está conectada a los puertos de entrada de las cámaras de mezcla mediante unas tuberías cilíndricas. La mezcla líquida saturada con gas se descarga desde la última fila de cámaras de mezcla a una única ranura de conexión en la placa intercambiadora de calor, donde dichas cámaras están conectadas por unos tubos
20 cilíndricos que salen de sus puertos de salida.

Otra realización se refiere a una instalación de producción a gran escala para el tratamiento de un efluente gaseoso ácido con solución acuosa alcalina, donde los caudales varían durante el día. La unidad básica es una placa de red apilada entre dos placas
25 intercambiadoras de calor con las características descritas en el ejemplo de aplicación anterior en la que, para el presente ejemplo, el líquido es la solución acuosa alcalina y el gas es el efluente gaseoso. La placa de red tiene cinco líneas de cámaras de mezcla cilíndricas y en las líneas impares el número de cámaras de mezcla es de cuatro y en las líneas pares el número de cámaras de mezcla es de tres. Dichas cámaras de mezcla están conectadas
30 mediante unos canales prismáticos. El efluente gaseoso se introduce en las cámaras de mezcla de números pares de la primera línea, mientras que la solución acuosa alcalina se introduce en las cámaras de mezcla de números impares de la primera línea. El gas ácido es absorbido por el líquido liberador de calor que es eliminado por un termofluido, agua fría, que fluye por el interior de las dos placas intercambiadoras de calor, una por encima y la
35 otra por debajo de la placa de red. La solución acuosa alcalina se introduce en las cámaras

de mezcla desde una ranura de conexión en la placa intercambiadora de calor inferior que está conectada a los puertos de entrada de las cámaras de mezcla mediante unas tuberías cilíndricas perforados en las placas. El gas se introduce en las cámaras de mezcla desde una ranura de conexión en la placa intercambiadora de calor inferior que está conectada a los puertos de entrada de las cámaras de mezcla mediante unas tuberías cilíndricas perforados en las placas. En la placa de red se forma un líquido saturado con el gas neutralizado y se descarga desde la última fila de cámaras de mezcla a una única ranura de conexión en la placa intercambiadora de calor, donde dichas cámaras se conectan mediante unos tuberías cilíndricas que salen de sus puertos de salida. Un conjunto de cien unidades básicas apiladas una encima de la otra que tienen un colector de tuberías para distribución de gas y solución acuosa alcalina sobre las unidades básicas apiladas. El colector de tuberías para distribución de líquidos incluye unas válvulas en la conexión a las unidades básicas, y dichas válvulas permiten variar dinámicamente el número de unidades básicas en funcionamiento y regular, de esta manera, el dispositivo a la tasa de producción. Se utiliza un esquema de colector similar para la circulación de agua fría a través de las placas intercambiadoras de calor.

Otra realización, se refiere a una reacción endotérmica catalítica que ocurre en fase líquida. La unidad básica es una placa de red apilada entre dos placas intercambiadoras de calor. La placa de red tiene cinco líneas de cámaras de mezcla cilíndricas y en las líneas impares el número de cámaras de mezcla es seis y en las líneas pares el número de cámaras de mezcla es cinco. Dichas cámaras de mezcla se conectan mediante unos canales prismáticos. El líquido se introduce en la primera línea de las cámaras de mezcla. En las dos primeras líneas de cámaras el líquido fluye en la red para alcanzar la temperatura requerida para que se produzca la reacción. En las líneas tres a cinco las paredes de la cámara de mezcla están recubiertas con un catalizador que va a iniciar la reacción química. El calor para la reacción endotérmica es suministrado por la utilidad de vapor de agua caliente que fluye el interior de las dos placas intercambiadoras de calor, una encima y la otra debajo de la placa de red. El líquido se introduce en las cámaras de mezcla desde una ranura de conexión en la placa intercambiadora de calor inferior que se conecta a los puertos de entrada de las cámaras de mezcla mediante tuberías cilíndricas perforados en las placas. El líquido de salida se descarga desde la última fila de cámaras de mezcla a una única ranura de conexión en la placa intercambiadora de calor, donde dichas cámaras se conectan mediante tuberías cilíndricas que salen de sus orificios de salida. Las placas intercambiadoras de calor superiores e inferiores tienen dos cavidades, la primera de las

5 cuales se encuentra en la posición junto a las dos primeras filas de cámaras de mezcla y sirve para regular la temperatura inicial del reactivo. La segunda cavidad se encuentra en el lugar próximo a las filas tercera a quinta de las cámaras de mezcla y suministra calor para que se produzca la reacción endotérmica. El vapor de agua utilizado en las diferentes cavidades puede tener temperaturas iguales o diferentes.

10 En la presente descripción, los fluidos que fluyen en las cámaras de mezcla se encuentran siempre a poca distancia del termofluido en las placas de red, lo que disminuye resistencias de conducción de sólidos a transferencia de calor. Además, los coeficientes de transferencia de calor global superiores a $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ (valor de referencia para el estado de la técnica actual), pueden lograrse en el menor espacio necesario para las cavidades de la placa de red, minimizando el tamaño de la unidad básica.

15 En una realización, por ejemplo, en dispositivos metálicos, las técnicas de fabricación generalmente limitan el posible rango de valores de la profundidad de la cámara de mezcla. Típicamente, esta profundidad oscila entre 0,25 mm y varios milímetros, particularmente entre 0,25 mm y 2,5 mm, donde $\omega > 1$ mm son dispositivos meso-estructurados, y los dispositivos micro-estructurados son para $\omega < 1$ mm. El uso de dicha cámara de mezcla a pequeñas profundidades aumenta la superficie específica disponible para la transferencia de calor. El área específica para la transferencia de calor para una placa de red con canales prismáticos y cámaras de mezcla cilíndricas, como en la figura 3, es

$$\frac{A}{V} \approx \left(\frac{1}{\omega}\right) \frac{1 + 2\left(\frac{\omega}{D}\right) + \frac{8}{\pi} \left(\frac{l}{D} \frac{d}{D} + \frac{\omega}{D} \frac{d}{D}\right)}{\frac{1}{2} + \frac{4}{\pi} \left(\frac{l}{D} \frac{d}{D}\right)}$$

25 donde ω es la profundidad de las cámaras de mezcla y los canales, D es el diámetro de la cámara de mezcla, d es la anchura de los canales prismáticos de entrada y salida y l es la longitud de los canales prismáticos. La figura 5 muestra el área de superficie específica de esta invención y otros dispositivos industriales de referencia que constituyen el estado de la técnica para intercambiadores de calor. Pueden obtenerse áreas de superficie específicas de mayores órdenes de magnitud con esta invención comparado con el estado de la técnica (depósitos agitados con revestimientos o serpentines, reactores tubulares) e incluso valores

30 mayores que los nuevos micro-reactores competidores. Una mayor superficie específica y una disminución de las resistencias de conducción aumenta la capacidad de los fluidos de la placa de red para transferir calor con los termofluidos.

En una realización, el efecto global de maximizar coeficientes de transferencia de calor y minimizar el tamaño del equipo puede sintetizarse en la capacidad de transferencia de calor específica, definida como

$$\hat{q} = h \frac{A}{V}$$

5

donde es h el coeficiente de transferencia de calor y A/V es la proporción de área por unidad de volumen. La figura 6 compara dicha capacidad de transferencia de calor específico de esta invención con los dispositivos del estado de la técnica donde, de nuevo, se demuestra que la capacidad de transferencia de calor específica global supera a todos los demás dispositivos de intercambio de calor.

10

En una realización, la presente descripción se refiere a un dispositivo modular en el que las unidades básicas son los bloques de construcción de grandes ensamblajes. Las ventajas de la modularidad son la escalabilidad, la flexibilidad de funcionamiento y la construcción de instalaciones industriales. La escalabilidad es la capacidad de este dispositivo para mantener las mismas características operativas, propiedades de producto y eficiencias de transferencia de calor independientemente de las tasas de producción.

15

En una realización, la escalabilidad se logra manteniendo la tasa de producción en cada unidad dentro de un rango de funcionamiento definido para una aplicación específica. El aumento de la producción se realiza numerando el número de unidades básicas.

20

En una realización, el funcionamiento flexible se refiere a la posibilidad de variar la producción durante el funcionamiento. La eficiencia energética y las características de los productos de los sistemas de flujo continuo se ven afectadas por el tiempo de permanencia de los fluidos dentro del sistema. Las tecnologías de control de la contaminación son casos específicos en los que los caudales evolucionan durante el día, y generalmente dependen del ciclo diario de las actividades humanas. En estos casos, este dispositivo modular puede mantener el caudal de cada unidad básica variando dinámicamente el número de unidades básicas activas.

25

30

Otra ventaja de esta invención es la construcción de grandes instalaciones industriales. La naturaleza modular de este dispositivo permite una fácil construcción estándar de grandes sitios mediante el ensamblaje de cualquier número de unidades básicas como bloques apilables que se conectan fácilmente a un colector de tuberías. Este principio de

35

construcción basado en bloques permite una instalación fácil y rápida de grandes instalaciones industriales.

5 En una realización, se evaluó y se cuantificó la capacidad de transferencia de calor del reactor químico de la presente descripción. La incorporación se basa en simulación CFD de un modelo numérico previamente desarrollado para el reactor estático 3D Costa MF, Fonte CM, Dias MM, Lopes JCB. Heat Transfer Performance of NETmix – A Novel Micro-Meso Structured Mixer and Reactor. AIChE J. 2017.

10 El número de Nusselt de celda unitaria promedio del reactor se determinó para diferentes números de Reynolds, y para dos condiciones de contorno diferentes: temperatura de pared constante y flujo de calor de pared constante. En ambos casos, se observó que el número de Nusselt aumenta al aumentar el número de Reynolds. Se observa que la existencia de puntos calientes se reduce cuando los patrones de flujo presentan un comportamiento
15 oscilante, y el resto se renueva con el tiempo, dando lugar a una mezcla y transferencia de calor más eficiente.

Los resultados muestran que, para números de Reynolds grandes, pueden obtenerse tasas de transferencia de calor de 3 a 5 veces más altas en comparación con el flujo entre placas
20 paralelas. Los coeficientes máximos de transferencia de calor convectivo se alcanzan cuando el flujo en el interior de las cámaras de mezcla evoluciona a un régimen de flujo laminar oscilante autosostenido. Un resultado importante que se obtiene de estas simulaciones es que, por encima del número crítico de Reynolds, la capa límite térmica se renueva a lo largo de la red de cámaras, aumentando la capacidad de transferencia de calor
25 global del reactor químico de la presente descripción.

El reactor químico de la presente descripción es un dispositivo de mezcla particularmente adecuado para manejar reacciones en las que se requiere una rápida transferencia de masa interfacial, tales como reacciones heterogéneas catalíticas y gas-líquido.

30 En una realización, la capacidad específica de transferencia de calor del reactor químico de la presente descripción se comparó con otras tecnologías disponibles en el mercado. Se observa que el reactor químico de la presente descripción presenta una capacidad específica de transferencia de calor de 2-5 órdenes de magnitud superior a la de la mayoría
35 de las tecnologías utilizadas en la industria, tales como los depósitos agitados con

revestimientos o reactores tubulares, y una capacidad específica de transferencia de calor de casi un orden de magnitud superior a la de los micro-reactores. El rendimiento del reactor químico de la presente descripción se debe a su gran relación superficie/volumen junto con una mejora del coeficiente de transferencia de calor que muestran las simulaciones CFD y los cálculos del número de Nusselt.

En una realización, el reactor/mezclador químico de la presente descripción es una tecnología competente para extraer/suministrar calor de/a un fluido, haciéndolo adecuado para reacciones rápidas donde la transferencia de calor es la etapa cinéticamente limitativa, y para reacciones altamente exo/endotérmicas, aumentando la capacidad de producción total del proceso.

La descripción no debe verse de ninguna manera restringida a las realizaciones descritas y un experto en la materia preverá muchas posibilidades de modificación de las mismas.

Las realizaciones descritas anteriormente son combinables.

Las siguientes reivindicaciones también establecen realizaciones particulares de la descripción.

REIVINDICACIONES

1. Reactor químico para procesos exotérmicos o endotérmicos que comprende una pila de una placa mezcladora de red para realizar la reacción y una placa intercambiadora de calor, en el que el placa mezcladora de red comprende una matriz de cámaras, estando interconectada cada cámara mediante por lo menos dos canales a por lo menos dos otras cámaras, para mezclar y dividir uno o más fluidos de reacción secuencialmente a través de dichas cámaras, en el que la placa intercambiadora de calor comprende un canal para el flujo de un termofluido, en el que el canal de la placa intercambiadora de calor y las cámaras de la placa mezcladora de red están alineados para transferir calor entre dichas cámaras y dicho canal, en el que cada cámara de la placa mezcladora de red es una cámara esférica o cilíndrica, que comprende dos o tres canales y dos o tres aberturas para conexión a dichos canales, en el que los diámetros de las cámaras son entre 1 mm y 50 mm y la anchura o los diámetros de los canales son entre 0,25 mm y 10 mm, en el que el número de Reynolds del flujo o del mezclador de red es mayor que 100; preferiblemente entre 125 y 1000.
2. Reactor de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por el hecho de que la profundidad de las cámaras y canales es entre 0,25 mm y 10 mm.
3. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el número de Reynolds del flujo o del mezclador de red es entre 125 y 1000.
4. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende dos placas intercambiadoras de calor en el que la placa mezcladora de red está apilada entre las placas intercambiadoras de calor.
5. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que por lo menos dos de los canales interconectados a cada cámara de la placa mezcladora de red son oblicuos respecto a la dirección general del flujo de fluido en el interior de la placa mezcladora de red.
6. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el

hecho de que dicho canal de la placa intercambiadora de calor es un canal serpenteante.

- 5 7. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dicho canal de la placa intercambiadora de calor comprende dos o más cavidades interconectadas.
8. Reactor de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por el hecho de que dichas cavidades comprenden deflectores.
- 10 9. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dicha placa intercambiadora de calor comprende una o más aberturas pasantes para el flujo de fluido hacia la placa mezcladora de red o desde la misma, o hacia y desde la misma.
- 15 10. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende una pluralidad de dichas placas mezcladoras de red y una pluralidad de dichas placas intercambiadoras de calor de modo que cada placa mezcladora de red queda colocada contiguamente entre dos placas intercambiadoras de calor.
- 20 11. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dichas placas comprenden entradas y salidas laterales.
12. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dichas placas comprenden entradas superiores y salidas inferiores para
25 conexión con placas contiguas.
13. Reactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende una o más placas de tapa para proporcionar estanqueidad a dichos canales y/o cámaras.

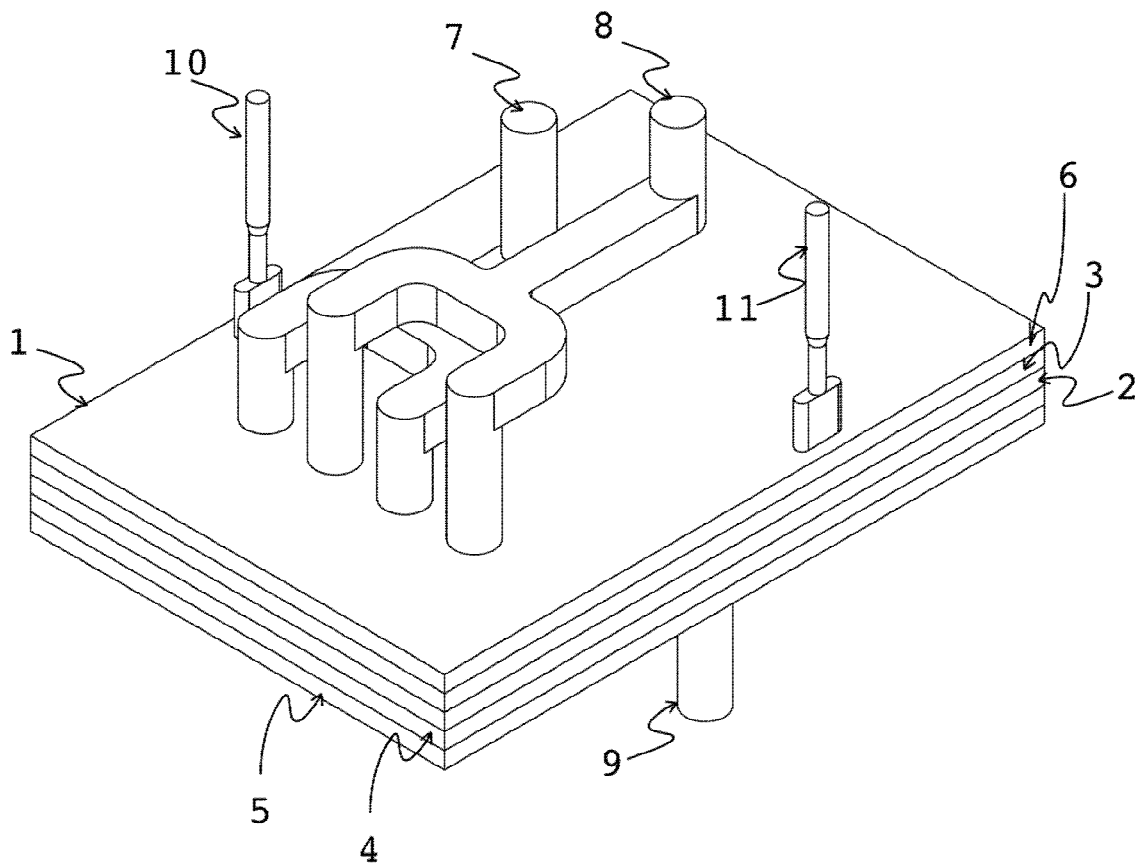


Fig. 1

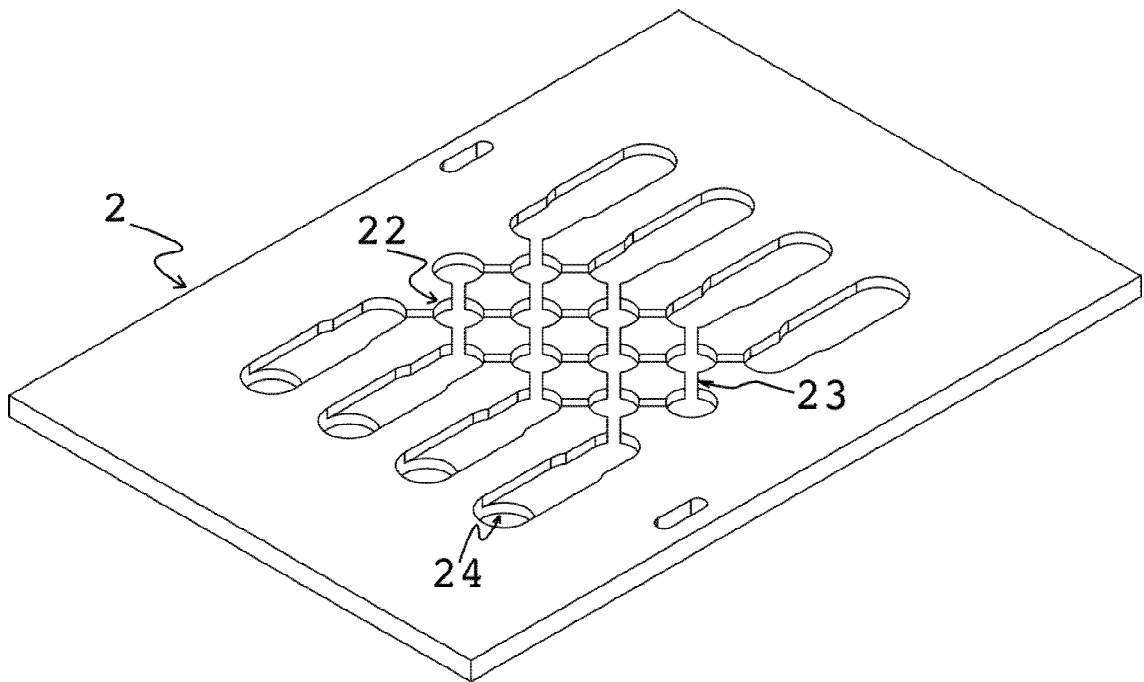
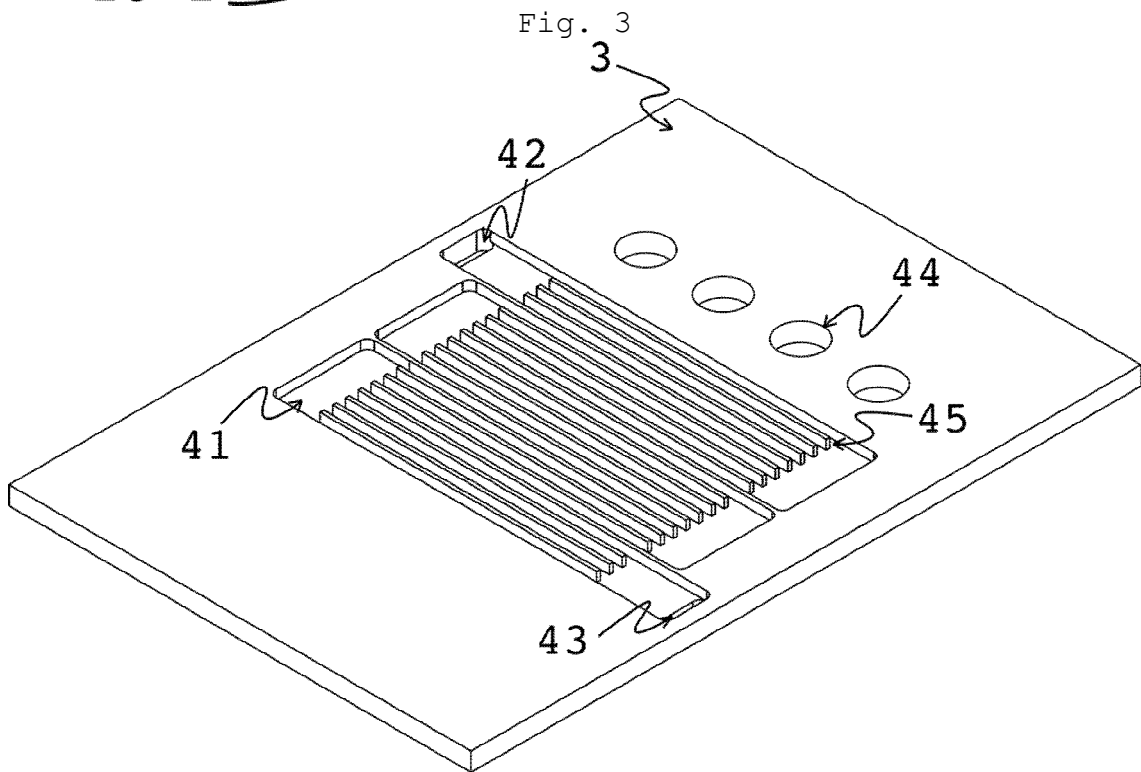
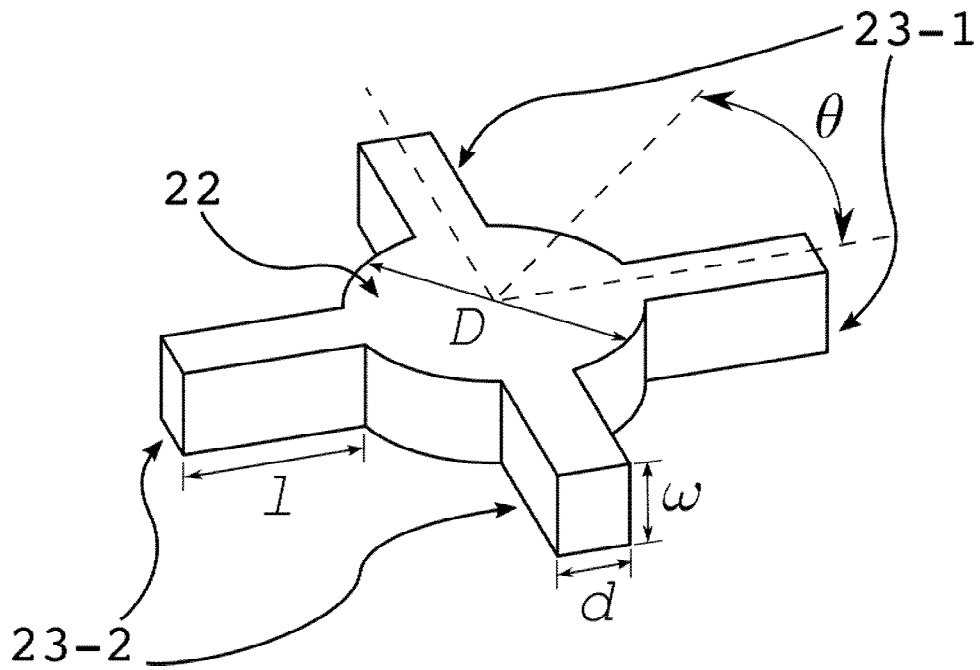


Fig. 2



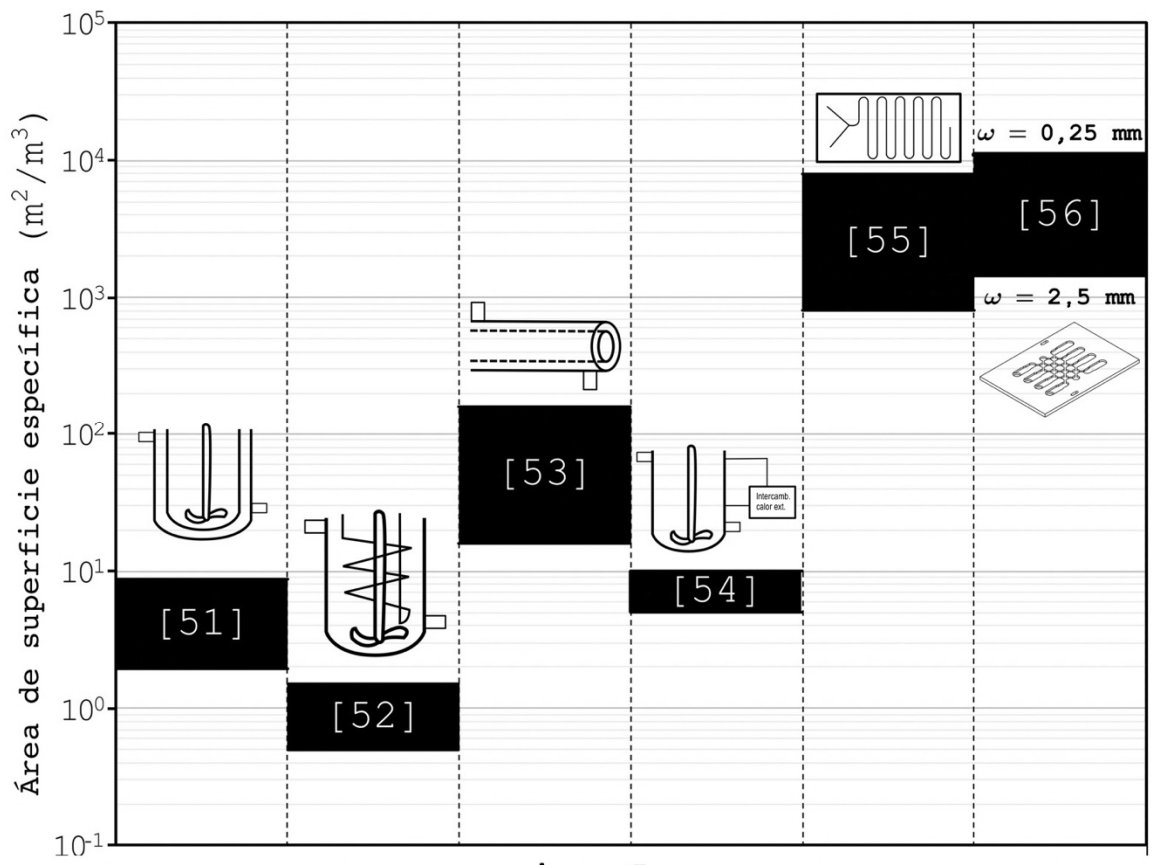


Fig. 5

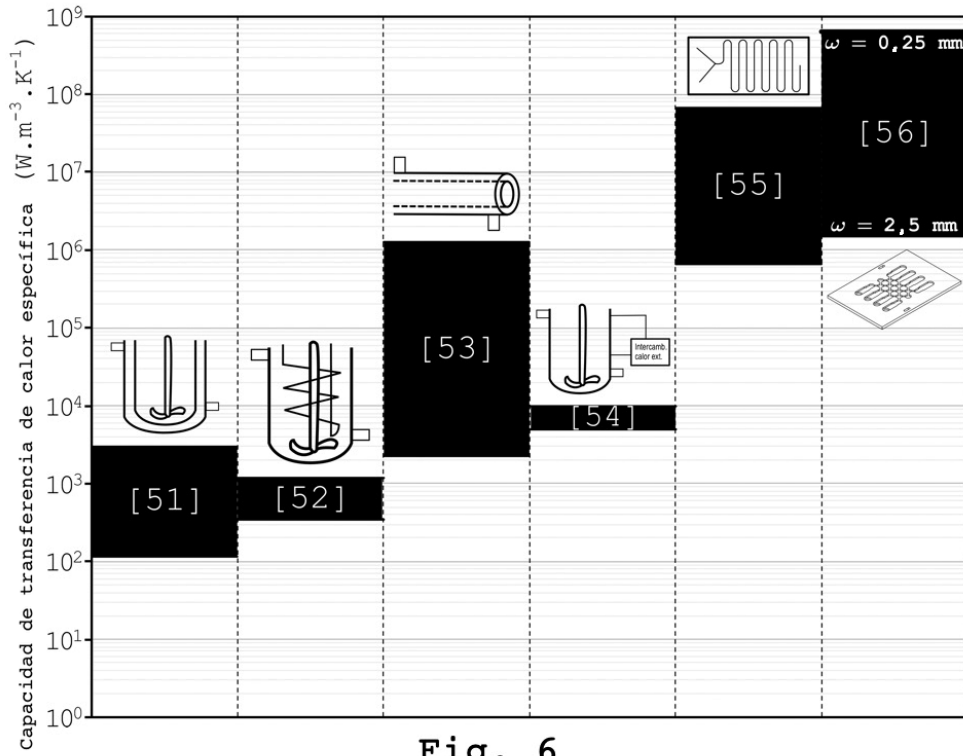


Fig. 6

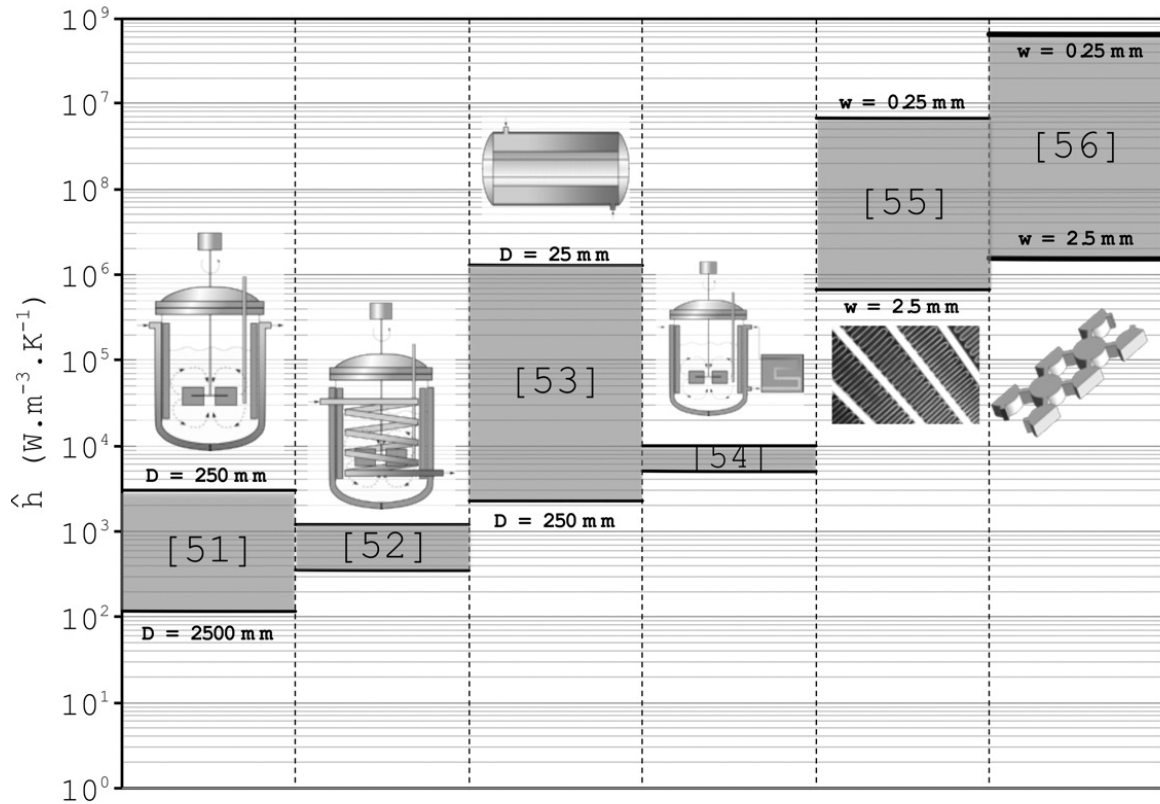


Fig. 7