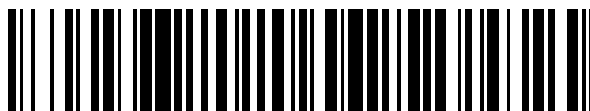


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 518 494**

51 Int. Cl.:

**B01J 7/00** (2006.01)  
**B01J 8/18** (2006.01)  
**H01M 8/16** (2006.01)  
**C01B 3/36** (2006.01)  
**C10J 3/46** (2006.01)  
**C10J 3/54** (2006.01)  
**F27B 15/00** (2006.01)  
**F27B 15/14** (2006.01)  
**F27B 15/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2007 E 11157542 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.07.2014 EP 2343116**

54 Título: **Reactor de lecho fluido que tiene un módulo de transferencia térmica de tipo combustor por impulsos**

30 Prioridad:

**24.04.2006 US 409837**  
**08.05.2006 US 429917**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.11.2014**

73 Titular/es:

**THERMOCHEM RECOVERY INTERNATIONAL,  
INC. (100.0%)**  
**3700 Koppers Street, Suite 405**  
**Baltimore, MD 21227, US**

72 Inventor/es:

**CHANDRAN, RAVI**

74 Agente/Representante:

**MIR PLAJA, Mireia**

**ES 2 518 494 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

Reactor de lecho fluido que tiene un módulo de transferencia térmica de tipo combustor por impulsos

5 **Campo de la invención**

10 [0001] La presente invención se refiere a un reactor de lecho fluido configurado para procesar termoquímica o bioquímicamente un material reactivo, el cual puede incluir materiales inorgánicos, y también materiales carbonosos, tales como licor negro y biomasa, con el fin de procesar y/o reciclar materiales y extraer energía, siendo el reactor del tipo definido en la parte pre-caracterizadora de la reivindicación 1. La invención se refiere también a un método de procesado termoquímico o bioquímico de un material reactivo para formar un producto, siendo el método del tipo definido en la parte pre-caracterizadora de la reivindicación 8.

15 **Antecedentes de la invención**

20 [0002] Las Figuras 1A y 1B muestran respectivamente unas vistas superior y lateral de un reactor de la técnica anterior, configurado como un reformador cilíndrico 100. El reformador cilíndrico 100 incluye un compartimento cilíndrico 101 que forma un recipiente de reacción. El reformador 100 comprende uno o más calentadores por impulsos 102A, 102B, cada uno de los cuales comprende un combustor por impulsos 104A, 104B conectado a un tubo 106A, 106B de resonancia respectivo. Tal como se observa en la Fig. 1A, los calentadores por impulsos 102A, 102B se extienden en una dirección que recorre el diámetro del cilindro. En los combustores por impulsos 104A, 104B entran aire y productos combustibles, y de los tubos 106A, 106B de resonancia salen los productos de combustión o gases de escape.

25 [0003] Los calentadores por impulsos 102A, 102B son del tipo dado a conocer en la patente U.S. n.º 5.059.404, cuyo contenido se incorpora a título de referencia en la medida necesaria para entender la presente invención. Dichos calentadores por impulsos están configurados para calentar indirectamente fluidos y sólidos introducidos en el recipiente 101 de reacción de un reformador. Los tubos 106A, 106B de resonancia asociados a los calentadores por impulsos 102A, 102B actúan como conductos de calentamiento para calentar indirectamente el contenido del compartimento 101.

30 [0004] Según se observa en las Figs. 1A y 1B, un segundo par de calentadores por impulsos 108A, 108B está dirigido en ángulo recto al primer par de calentadores por impulsos 102A, 102B cruzando el diámetro del compartimento. Tal como se observa en la Fig. 1B, esto deja unos cuadrantes 136 que se extienden verticalmente dentro del compartimento 101 en zonas definidas por los calentadores por impulsos, transversales.

35 [0005] Los calentadores por impulsos se sumergen en un lecho 110 de fluido denso, que se extiende desde el fondo 112 del compartimento hasta aproximadamente la línea superior 114 del lecho. El calentador por impulsos situado más abajo 102B está ubicado a una altura de H1 metros por encima del distribuidor 122 para evitar que los tubos 104B de resonancia queden pintados con licor 118. En algunos sistemas de la técnica anterior, la altura H1 es aproximadamente de 2 a 3 metros.

40 [0006] El licor usado 118 se inyecta en el lateral del compartimento 101 cerca del fondo del lecho 110 de fluido denso. Hablando en términos generales, el licor usado se introduce en el compartimento por medio de una pluralidad de entradas 103 que están dispuestas circunferencialmente en torno al compartimento cilíndrico 101. Aunque en la Fig. 1B se muestran solamente cuatro de estas entradas 103, se entiende que se pueden prever diferentes números de entradas dispuestas circunferencialmente. En otras realizaciones de la técnica anterior, el licor usado se puede introducir a través del fondo del compartimento 101 a través de una pluralidad de entradas distribuidas de manera más o menos uniforme por el fondo, tal vez dispuestas en una matriz o con otro diseño.

45 [0007] Desde el fondo del compartimento 101 entra vapor sobrecalentado 120, u otro medio de fluidificación, y el mismo pasa a través de un distribuidor 122. El distribuidor 122 ayuda a esparcir uniformemente el vapor entrante 120, que a continuación se percuela a través del lecho 110 de fluido denso. El gas producto 124 sale desde un área 126 de francobordo en la parte superior del compartimento 101 después de pasar a través de uno o más ciclones internos (no mostrados) que se usan para ayudar a eliminar sólidos arrastrados del lecho.

50 [0008] Las Figs. 2A y 2B muestran una configuración alternativa de la técnica anterior en forma de un reformador rectangular 200. El reformador rectangular 200 tiene un compartimento 201 con una sección transversal rectangular vista desde arriba (véase la Fig. 2B). Una pluralidad de calentadores por impulsos 102 dispuestos en una o más filas pasan a través de este compartimento 201. Las filas están colocadas al trespelillo una con respecto a otra para potenciar la transferencia térmica. Cada uno de estos calentadores por impulsos 102 comprende un conducto de calentamiento en forma de un tubo de resonancia para calentar indirectamente el contenido del compartimento 201.

55 [0009] Un distribuidor 222 está dispuesto en el fondo del compartimento 201, de forma muy similar a la del reformador cilíndrico 100. Los calentadores por impulsos situados más abajo 202 están ubicados a una altura H2 por encima del distribuidor 222. En algunos sistemas de la técnica anterior, de nuevo esta altura H2 es de aproximadamente 2 a 3

metros. Por otra parte, justo como el caso del reformador cilíndrico, el licor usado 218 se introduce en el lateral del compartimento 201 cerca de su fondo. Hablando en términos generales, el licor usado se introduce en el compartimento por medio de una pluralidad de entradas 203 que están dispuestas a lo largo de las paredes en torno al compartimento rectangular 201. En otras realizaciones de la técnica anterior, el licor usado se puede introducir a través del fondo del compartimento 201 a través de una pluralidad de entradas distribuidas de manera más o menos uniforme por el fondo, tal vez dispuestas en una matriz u otro diseño. Al mismo tiempo, el gas producto 224 sale de un área 226 de francobordo en la parte superior del compartimento 201. Se entiende que, en la mayoría de los aspectos materiales, el funcionamiento del reformador rectangular 200 es similar al correspondiente del reformador cilíndrico 100 descrito anteriormente.

**[0010]** Las disposiciones anteriores parecen funcionar satisfactoriamente en unidades de desarrollo de procesos a pequeña escala. Sin embargo, las mismas pueden encontrar ciertas limitaciones cuando su escala aumenta a unidades mayores.

**[0011]** Uno de los problemas es la presencia de cuadrantes abiertos (véase la Fig. 1B) en los que no hay tubos, o hay un espacio libre entre haces de calentadores por impulsos (véase la Fig. 2B), de manera que las dos opciones pueden fomentar la canalización de vapor/gas y la derivación de vapor/gas, perjudicando así el contacto de gas-sólidos y la velocidad de circulación de los sólidos. Además, la presencia de canales verticales tan grandes promueve la formación de grandes burbujas de gas que, debido al rápido incremento de tamaño y velocidad, pueden dañar tuberías, tubos, conexiones y otros elementos dentro del reformador.

**[0012]** Otro problema es que una velocidad reducida de circulación de sólidos conduce a tiempos de contacto de las partículas más prolongados en la superficie del tubo de resonancia. Esto obstaculiza la convección de partículas y, a su vez, la transferencia térmica desde los tubos. Consecuentemente, los tubos tienden a trabajar a temperaturas más altas, y esto afecta negativamente a la velocidad con la que el calor se evacúa al lecho e incrementa la temperatura de salida del gas de escape de combustión desde los calentadores por impulsos 102A, 102B, 202. Adicionalmente, hay una mayor inclinación a la presencia de puntos calientes locales, lo cual puede conducir a la formación de residuos fundidos (*smelt*) y/o a la aglomeración de partículas y a incrustaciones o acumulaciones en torno a algunos o muchos tubos.

**[0013]** Todavía otra de las limitaciones puede ser que el estrecho acoplamiento de la cámara de combustión con los tubos de resonancia hace que resulte necesario minimizar la separación de tubo-a-tubo, o paso, y a su vez el intersticio entre los tubos de resonancia. Esto se efectúa para facilitar una relación de aspecto (longitud con respecto a diámetro) razonable para la cámara de combustión. Además, puesto que el calentador por impulsos se diseña típicamente como un resonador de Helmholtz, el mismo debe conservar ciertas proporciones geométricas (longitud de los tubos de resonancia, volumen de los tubos de resonancia y volumen de la cámara de combustión). Los datos y modelos experimentales para la transferencia térmica entre tubos y lecho fluidificado indican una mejora significativa del coeficiente de transferencia térmica con un incremento del paso o intersticio entre tubos en un haz de tubos. Esto es debido a la reducción de la resistencia para el movimiento de los sólidos al aumentar el espacio entre tubos, lo cual promueve una renovación superficial o convección de partículas más frecuente, y a su vez, un coeficiente de transferencia térmica mayor. Sin embargo, las disposiciones que se observan en la Fig. 1B limitan el intersticio entre tubos a un valor que es muy inferior al óptimo desde los puntos de vista de la transferencia térmica del lecho fluido y de la operatividad.

**[0014]** Además, una mayor parte de la combustión y de la liberación de calor se produce en la cámara de combustión por impulsos. Sin embargo, la combustión continúa en el tubo de resonancia aunque a una velocidad menor debido a la temperatura inferior de los gases en el tubo de resonancia. La combustión y liberación de calor residuales en el tubo de resonancia es deseable desde el punto de vista de la transferencia térmica, aunque resulta insatisfactoria si la combustión es incompleta y da origen a concentraciones significativas de CO e hidrocarburos no quemados en el gas de combustión de escape. La probabilidad de este resultado se incrementa a medida que disminuye la velocidad de quema de combustible en el combustor con respecto a la velocidad de quemado nominal.

**[0015]** Adicionalmente, tras su inyección en el lecho fluido 110, la materia prima carbonosa experimenta secado, desvolatilización, formación de residuos carbonosos (*char*) y conversión de residuos carbonosos. En un entorno de reformado con vapor, todos estos procesos son endotérmicos, es decir, requieren aportación de calor. Cuanto mayor sea la velocidad de circulación de los sólidos del lecho y cuanto más uniforme sea la distribución de la materia prima por el lecho, mayor será la velocidad de calentamiento y más alta será la temperatura final de la materia prima. Esto fomenta la descomposición térmica de materia orgánica y conduce a una mayor producción de volátiles y a una menor formación de alquitrán y producción de residuos carbonosos. Con una configuración de lecho fluido-calentador por impulsos que fomenta la canalización y derivación de gas/vapor, la velocidad de circulación de sólidos se ve afectada negativamente. Esto obstaculiza el transporte de calor a la zona de inyección de materia prima, rebaja la temperatura en esta zona y promueve la formación de alquitrán y residuos carbonosos.

**[0016]** Todavía otro de los problemas es que los procesos de secado, desvolatilización, formación de residuo carbonoso y conversión de residuo carbonoso compiten todos ellos por la transferencia térmica y la transferencia de masa en la

zona que está por encima del distribuidor 122, 222 aunque por debajo del calentador por impulsos inferior. Todos estos procesos son sumideros de calor y el medio de fluidificación entrante 120 puede ser otro sumidero de calor si el mismo es vapor y está a una temperatura inferior a la del lecho fluido. Las únicas fuentes de calor son los calentadores por impulsos y estos están separados significativamente de los sumideros de calor por las distancias H1 y H2 antes mencionadas, en las realizaciones de la técnica anterior que se han descrito anteriormente. El único vínculo es la velocidad de circulación de sólidos, y si esta no está a la altura, la zona de inyección de materia prima experimenta una carencia de calor y el rendimiento del reactor se ve perjudicado.

**[0017]** Adicionalmente, tanto la transferencia térmica como la transferencia de masa son importantes para una conversión satisfactoria del residuo carbonoso. Cuanto más altas sean la temperatura del residuo carbonoso y la concentración del reactivo o vapor, mayor será la tasa de conversión del residuo carbonoso. La zona justo por encima del distribuidor está caracterizada por una alta concentración de vapor o reactivo, lo cual es favorable para la conversión del residuo carbonoso, siempre que la temperatura del residuo carbonoso se pueda mantener al mismo valor que la temperatura del lecho fluido. Debido a la inyección de materia prima y a la velocidad reducida de circulación de sólidos, la alimentación de calor está limitada lo cual es probable que rebaje la temperatura del residuo carbonoso y, a su vez, la tasa de conversión del residuo carbonoso. En la zona de los calentadores por impulsos, la transferencia térmica es buena pero la transferencia de masa puede resultar insatisfactoria si el reactivo (vapor) toma una derivación debido a la canalización, afectando negativamente de nuevo a la conversión del residuo carbonoso.

**[0018]** Las instalaciones comerciales generalmente requieren lechos fluidificados densos profundos o altos para dar acomodo al gran número de tubos de transferencia térmica. El funcionamiento de estas instalaciones en régimen de fluidificación con burbujeo es bastante limitativo desde los puntos de vista de la transferencia térmica y de masa y del contacto gas/sólido debido a las burbujas relativamente grandes, al aumento de la coalescencia de las burbujas y a la tendencia a la derivación del vapor/gas. A la inversa, el funcionamiento en el régimen de fluidificación turbulenta proporciona un buen contacto gas/sólido y excelentes características de transferencia térmica y de masa. Sin embargo, esto requiere una velocidad de fluidificación superficial significativamente mayor que la correspondiente al régimen de burbujeo. Uno de los planteamientos viables consiste en seleccionar una configuración diferente de los intercambiadores de calor y un menor tamaño medio de partículas del material del lecho.

**[0019]** En resumen, las configuraciones de la técnica anterior que se han descrito anteriormente proporcionan modularidad y son beneficiosas para ciertas clases de capacidad dimensional o de materia prima. Sin embargo, este planteamiento resulta poco manejable para instalaciones a gran escala o con grandes aportaciones de materia prima debido al elevado número requerido de calentadores por impulsos, la complejidad de las interconexiones, las tuberías, los conductos, etcétera, y los costes. Todo esto restringe su aumento a escala.

**[0020]** En el documento US 5 064 444 A se dan a conocer un reactor de lecho fluido del tipo definido en la parte pre-caracterizadora de la reivindicación 1 y un método del tipo definido en la parte pre-caracterizadora de la reivindicación 8. El reactor de lecho fluido dado a conocer por la patente US antes mencionada comprende un recipiente de presión que tiene un único intercambiador de calor continuo. El intercambiador de calor incluye tubos de intercambio de calor superiores y tubos de intercambio de calor inferiores conectados por una tubería. De este modo, las mismas fracciones de medio de transferencia de calor que entran en el tanque por una entrada y salen del tanque por una salida pasan en primer lugar a través de los tubos de intercambio de calor inferiores y, a continuación, pasan a través de los tubos de intercambio de calor superiores, después de pasar a través de la tubería de conexión. La temperatura del gas en el intercambiador de calor continuo difiere de una zona a la siguiente, y esto, a su vez, afecta a la cantidad de calor transferido en una zona en comparación con la siguiente. Esto es debido a que el medio de transferencia de calor en la zona de gasificación en la que entró en primer lugar en el recipiente por la entrada y fluyó a través de los tubos de intercambio de calor inferiores está más caliente que cuando estaba fluyendo a través de los tubos de intercambio de calor superiores en la zona de pirólisis antes de salir del recipiente por la salida.

**[0021]** El documento US 5 637 192 A da a conocer un reactor de lecho fluido que es calentado indirectamente por un único combustor por impulsos que tiene uno o más tubos de resonancia que se sumergen en un lecho de partículas sólidas en una zona de reacción para proporcionar calor indirecto a partir de los gases pulsantes a las partículas sólidas del lecho. Los tubos de resonancia del combustor por impulsos se extienden paralelos en una dirección vertical durante la altura completa del reactor.

## Sumario de la invención

**[0022]** En un aspecto, la invención va dirigida a un reactor de lecho fluido configurado para procesar termoquímica o bioquímicamente un material reactivo, comprendiendo el reactor:

un recipiente de reacción que define un compartimento adecuado para recibir un material reactivo;

un primer agrupamiento de conductos de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento y que se extienden durante una primera extensión vertical dentro del compartimento, estando

configurado cada conducto de calentamiento en el primer agrupamiento para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento, presentando los conductos de calentamiento del primer agrupamiento un primer grosor;

5 un segundo agrupamiento de conductos de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento y que se extienden durante una segunda extensión vertical dentro del compartimento, estando configurado cada conducto de calentamiento del segundo agrupamiento para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento, presentando los conductos de calentamiento del segundo agrupamiento un segundo grosor, estando posicionado el segundo agrupamiento de conductos de calentamiento verticalmente por encima del primer agrupamiento de conductos de calentamiento y espaciado de este último por una primera distancia de separación, siendo la primera distancia de separación por lo menos tan grande como el menor del primer y el segundo grosores, definiendo la primera distancia de separación una zona en el recipiente de reacción entre el primer agrupamiento y el segundo agrupamiento que está configurada para propiciar una buena circulación de sólidos; y

15 una pluralidad de entradas de materia prima configuradas para introducir un material reactivo en el recipiente de reacción en una región que está verticalmente entre el primer y el segundo agrupamientos de conductos de calentamiento;

20 caracterizado por que cada conducto de calentamiento de dichos primer y segundo agrupamientos es un tubo de resonancia de uno respectivo de una pluralidad de calentadores por impulsos, o, dentro de los conductos de calentamiento, hay calentadores eléctricos.

[0023] En otro aspecto, la invención va dirigida a un método de procesado termoquímico o bioquímico de un material reactivo para formar un producto, comprendiendo el método:

25 proporcionar un reactor de lecho fluido que comprende:

un recipiente de reacción que define un compartimento adecuado para recibir un material reactivo;

30 un primer agrupamiento de conductos de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento y que se extienden durante una primera extensión vertical dentro del compartimento, estando configurado cada conducto de calentamiento en el primer agrupamiento para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento, presentando los conductos de calentamiento del primer agrupamiento un primer grosor; y

35 un segundo agrupamiento de conductos de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento y que se extienden durante una segunda extensión vertical dentro del compartimento, estando configurado cada conducto de calentamiento del segundo agrupamiento para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento, presentando los conductos de calentamiento del segundo agrupamiento un segundo grosor, estando posicionado el segundo agrupamiento de conductos de calentamiento verticalmente por encima del primer agrupamiento de conductos de calentamiento y espaciado de este último por una primera distancia de separación, siendo la primera distancia de separación por lo menos tan grande como el menor del primer y el segundo grosores, definiendo la primera distancia de separación una zona en el recipiente de reacción entre el primer agrupamiento y el segundo agrupamiento que está configurada para propiciar una buena circulación de sólidos;

45 introducir un medio de fluidificación en el compartimento;

introducir material reactivo en el compartimento en una región que está verticalmente entre el primer y el segundo agrupamientos de conductos de calentamiento; y

50 controlar una reacción en el recipiente de reacción tal que por lo menos una parte del material reactivo se convierta en uno o más productos en un lecho fluidificado;

caracterizado por

55 proporcionar al recipiente de reacción una pluralidad de calentadores por impulsos, incluyendo cada calentador por impulsos un tubo de resonancia que actúa como uno respectivo de dichos conductos de calentamiento; y en donde

60 el control de una reacción en el recipiente de reacción comprende controlar el funcionamiento de dichos calentadores por impulsos.

**Breve descripción de los dibujos**

[0024] Para entender mejor la presente invención y para mostrar cómo puede llevarse a la práctica la misma, a continuación se hará referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 5 Las Figs. 1A y 1B muestran respectivamente unas vistas lateral y superior de un reformador cilíndrico de la técnica anterior.
- Las Figs. 2A y 2B muestran respectivamente unas vistas lateral y superior de un reformador rectangular de la técnica anterior.
- 10 Las Figs. 3A, 3B y 3C muestran, respectivamente, una vista lateral, una sección de corte lateral y una sección de corte superior de un dispositivo que no forma parte de la presente invención.
- La Fig. 4A muestra una vista en sección de corte transversal, parcial, de una primera realización de la pared del recipiente del reformador de las Figs. 3A, 3B y 3C.
- La Fig. 4B muestra una sección transversal de la Fig. 4A según las líneas 4B-4B.
- 15 La Fig. 4C muestra una sección transversal de la Fig. 4A según las líneas 4C-4C.
- La Fig. 4D muestra una sección transversal de la Fig. 4C según las líneas 4D-4D.
- La Fig. 5A muestra una vista en sección de corte transversal, parcial, de una segunda realización de la pared del recipiente del reformador de las Figs. 3A, 3B y 3C.
- La Fig. 5B muestra una sección transversal de la Fig. 5A según las líneas 5B-5B.
- 20 La Fig. 5C muestra una sección transversal de la Fig. 5A según las líneas 5C-5C.
- La Fig. 6A muestra una vista lateral de un reactor según una realización de la presente invención.
- La Fig. 6B muestra una vista en sección transversal superior del reactor de la Fig. 6A tomada según las líneas 6B-6B.

**Descripción detallada de realizaciones preferidas**

- 25 [0025] El contenido de las patentes U.S. n.º 5.059.404, 5.306.481, 5.353.721, 5.536.488, 5.637.192 y 6.149.765 se incorpora a título de referencia en la medida necesaria para entender la presente invención.
- [0026] Las Figs. 6A y 6B muestran vistas de un reformador 600 de lecho fluido que tiene agrupamientos, espaciados entre sí verticalmente, de conductos de calentamiento, inyectándose materia prima entre los agrupamientos espaciados entre sí. El reformador 600 de lecho fluido comprende un compartimento 601 que actúa recipiente 602 de reacción. Tal como se observa mejor en la Fig. 6B, el recipiente 602 de reacción tiene una huella rectangular (es decir, una forma rectangular en una sección transversal horizontal) que comprende dos lados largos 604A, 604B y dos lados cortos 606A, 606B. Una pluralidad de calentadores por impulsos 608A, 608B pasa a través de los lados largos 604A, 604B del recipiente reformador 600. En una realización, los calentadores por impulsos 608A, 608B son de un tipo bien conocido para aquellos versados en la materia, tal como los correspondientes que se dan a conocer en la patente U.S. n.º 5.059.404, anteriormente mencionada. Los tubos 609 de resonancia asociados a estos calentadores por impulsos 608A, 608B actúan como conductos de calentamiento para calentar indirectamente el contenido del compartimento 601.
- 40 [0027] Los calentadores por impulsos 608A, 608B están organizados en dos agrupamientos separados verticalmente entre sí, un primer agrupamiento o agrupamiento inferior 610 y un segundo agrupamiento o agrupamiento superior 620. En la realización que se muestra, cada agrupamiento 610, 620 comprende una o más filas de calentadores por impulsos. No obstante, se entiende que no es necesario que los calentadores por impulsos dentro de un agrupamiento estén dispuestos en filas, para que los mismos estén de acuerdo con la presente invención.
- 45 [0028] Tal como se observa en la realización de la Fig. 6A, los calentadores por impulsos 608A que pertenecen al agrupamiento inferior 610 están dispuestos en una única fila horizontal 612. Puesto que se trata de la única fila, la fila 612 sirve tanto de fila más superior 612 como de fila más inferior 612 del agrupamiento inferior 610. La extensión vertical V1 del agrupamiento inferior 610 es por lo tanto concurrente con la altura R1 de la fila. En este caso, la altura R1 de la fila se corresponde con el grosor T1 de un calentador por impulsos 608A que pertenece a esta fila 612 (o de forma más precisa, el grosor T1 de un conducto 609 de calentamiento asociado al calentador por impulsos 608A). Por consiguiente, en el caso de un conducto de calentamiento cilíndrico que esté dispuesto horizontalmente, R1 es simplemente el diámetro del conducto de calentamiento. Aunque en esta fila 612 se muestran tres calentadores por impulsos, se entiende que una fila puede tener, en cambio, un número diferente de calentadores por impulsos.
- 50 [0029] Los calentadores por impulsos 608B que pertenecen al agrupamiento superior 620 están dispuestos en un par de filas horizontales 614A, 614B. En la realización mostrada, las filas 614A, 614B del agrupamiento superior 620 están dispuestas al trespelillo una con respecto a otra y están espaciadas verticalmente entre sí por una separación intra-fila V4. El agrupamiento superior 620 tiene una extensión vertical V2 que es mayor que la extensión vertical V1 del agrupamiento inferior 610, debido a la presencia de dos filas 614A, 614B en el agrupamiento superior 620, en lugar de la fila única 612 del agrupamiento inferior 610. La fila más inferior 614A del segundo agrupamiento 602 tiene una altura de fila R2 que, en la realización mostrada, se corresponde con el grosor T2 del conducto de calentamiento asociado a los calentadores por impulsos 608B correspondientes. Cuando en los dos agrupamientos 610, 620 se usan los mismos
- 60

tipos de conductos de calentamiento/calentadores por impulsos, la altura de fila R2 de la fila más inferior 614A del agrupamiento superior 620 es igual a la altura de fila R1 de la fila más superior 612 del agrupamiento inferior 610.

5 **[0030]** Según se observa en la Fig. 6A, el primer y segundo agrupamientos 610, 620 están espaciados entre sí por una separación vertical entre agrupamientos S1.

10 **[0031]** En una realización, los agrupamientos 610, 620 están espaciados por una distancia suficiente para que la separación vertical S1 sea al menos tan grande como el menor de los grosores T1 y T2 de los conductos de calentamiento. Cuando los conductos de calentamiento en un agrupamiento dado tienen grosores que difieren, entonces, como "grosor de los conductos de calentamiento", se usa el grosor medio de los conductos de calentamiento para ese agrupamiento con el fin de determinar la mínima separación vertical S1.

15 **[0032]** En otras realizaciones, la separación vertical S1 es por lo menos tan grande como la menor de las dos extensiones verticales V1, V2 (es decir,  $S1 \geq \min(V1, V2)$ ).

**[0033]** Todavía en otras realizaciones, la separación vertical S1 es por lo menos el doble de grande que la menor de las dos extensiones verticales V1, V2 (es decir,  $S1 \geq 2 * \min(V1, V2)$ ).

20 **[0034]** En la anterior descripción de los agrupamientos 610, 620, los calentadores por impulsos 608A, 608B de cada agrupamiento estaban dispuestos en filas horizontales, y por lo tanto las alturas de fila R1, R2 eran iguales a los grosores T1, T2 de los conductos de calentamiento. No obstante, se entiende que en otras realizaciones los calentadores por impulsos pueden no estar dispuestos en filas horizontales, sino que, en cambio, pueden estar inclinados, o en ángulo, desde una pared 604A a la pared opuesta 604B. En tal caso, las alturas de las filas no serían iguales a los grosores de los conductos de calentamiento. Se entiende que todavía en otras realizaciones, los calentadores por impulsos incluso pueden no estar en absoluto dispuestos en filas. No obstante, en todos estos casos, la separación vertical S1 seguiría siendo al menos tan grande como el menor de los grosores T1 y T2 de los conductos de calentamiento.

30 **[0035]** Asimismo, aunque el primer y el segundo agrupamientos 610, 620 se muestran, respectivamente, de manera que tienen un número desigual de filas, se entiende que en algunas realizaciones los dos agrupamientos pueden tener un número igual de filas, y que este número igual puede ser 1, 2, 3 ó incluso mayor. Se entiende además que, aunque en la realización de las Figs. 6A-6B, las filas 614A, 614B del segundo agrupamiento 620 tienen números desiguales de calentadores por impulsos 608B, las filas adyacentes dentro de un agrupamiento pueden tener, en cambio, números iguales de calentadores por impulsos 608B. Así por ejemplo, las filas 614A, 614B del segundo agrupamiento 620 pueden tener cada, cada una de ellas, tres calentadores por impulsos 608B, estando las filas todavía al tresbolillo una con respecto a otra.

40 **[0036]** El número total de filas y el número total de calentadores por impulsos 608A, 608B de cada fila pueden modificarse en cualquier diseño dado para adecuarse al tamaño, al tipo de materia prima y al caudal de materia prima del reformador a vapor 600.

45 **[0037]** En el fondo del recipiente reformador 602 se encuentra un distribuidor 622 en el cual se introduce un medio 635 de fluidificación, tal como vapor. Justo por encima del distribuidor 622 y por debajo del primer agrupamiento 610 se encuentra una zona 640 de conversión mejorada de residuo carbonoso. La zona 640 proporciona una buena transferencia térmica y de masa y una alta concentración de reactivo (vapor) y facilita la conversión mejorada del residuo carbonoso. La extensión vertical de esta zona 640 dependerá de la reactividad del residuo carbonoso y de las condiciones de funcionamiento del reformador, en donde que cuanto más lenta(s) sea(n) la(s) reacción(es), tanto mayor será la extensión vertical.

50 **[0038]** Entre el primer agrupamiento 610 y el segundo agrupamiento 620 se encuentra una zona 642 de secado y desvolatilización con una altura S1, según se ha descrito anteriormente. Esta zona conduce a una circulación de sólidos, un transporte de calor y un contacto gas-sólido buenos, y sirve para maximizar el secado y la desvolatilización y minimizar la formación de alquitrán y residuo carbonoso. En una realización, entradas de materia prima, mostradas en general con la referencia 637, terminan en una región que está verticalmente entre los dos agrupamientos 610, 620. Así, en esta realización se inyecta materia prima en la zona 642, que está separada de la zona primaria 640 de reacción de residuo carbonoso, en una posición verticalmente por encima del primer agrupamiento de calentadores por impulsos y verticalmente por debajo del segundo agrupamiento 620 de calentadores por impulsos. Se entiende que las entradas 637 de materia prima están aproximadamente a la misma altura y espaciadas entre sí a lo largo de los lados cortos 606A, 606B del recipiente reformador 602.

60 **[0039]** Finalmente, en la región justo por encima del segundo agrupamiento 620 se encuentra una región 644 de lecho denso, que se extiende hasta la línea superior 646 del lecho. Una región 648 de francobordo ocupa la parte más superior del recipiente reformador 602. El gas producto 649 sale de la región 648 de francobordo por medio de ciclones y otros equipos (no mostrados) conocidos para aquellos versados en la materia.

**[0040]** Se entiende que los calentadores por impulsos 608A, 608B del reformador 600 de fluido están bajo control de un ordenador (no mostrado) para variar la velocidad de quemado y la tasa de transferencia térmica de manera que se adecuen mejor a la carga del reformador 600 de fluido y también mejorar la rangeabilidad del reformador.

**[0041]** Puede observarse a partir de lo anterior que, en muchos aspectos, el reformador 600 de fluido de las Figs. 6A y 6B es similar al reformador 200 de fluido de la técnica anterior ilustrado en la Fig. 2. No obstante, una diferencia principal es que los calentadores por impulsos 608A, 608B en el reformador 600 de fluido están dispuestos en agrupamientos espaciados entre sí 610, 620, mientras que los calentadores por impulsos en el reformador 200 de fluido de la técnica anterior pertenecen todos ellos a un único agrupamiento. Una segunda diferencia es que, en algunas realizaciones, la materia prima se introduce en el compartimento 602 en una región que está por encima de los calentadores por impulsos de más abajo, y, en una realización, se introduce en una región que está entre los dos agrupamientos 610, 620.

**[0042]** El funcionamiento del reformador de lecho fluido para crear un gas producto a partir de un material carbonoso comienza con un aparato de la clase descrita anteriormente. A esto le sucede la introducción de un medio de fluidificación en el compartimento, la introducción de un material carbonoso en el compartimento en una región que está verticalmente entre el primer y el segundo agrupamientos, y a continuación el control de una reacción en el recipiente de reacción tal que por lo menos una parte del material carbonoso se convierte en un gas producto en un lecho fluidificado.

**[0043]** Aquellos con conocimientos habituales en la materia están familiarizados con varios aspectos del control de la reacción, tales como flujos de reactivo, monitorización de temperatura y presión, y similares. En aquellas situaciones en las que se usan calentadores por impulsos, dicho control conlleva el funcionamiento de los calentadores por impulsos, incluyendo el ajuste de su velocidad de quemado, de la mezcla de aire y combustible y de otros parámetros. El reformador puede estar configurado para funcionar en un régimen de fluidificación turbulenta, y el medio de fluidificación puede constar de uno del grupo de vapor, aire, aire enriquecido, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, gas producto de reciclaje y mezclas de los mismos.

**[0044]** Aunque la anterior descripción del reformador 600 contempla un reformador de lecho fluidificado que tiene una huella rectangular, es posible implementar la presente invención en reformadores que presenten también otras formas. Así, por ejemplo, un reformador con una huella cuadrada o una huella circular puede sacar provecho de la presente invención, siempre que se proporcione la suficiente separación vertical entre los calentadores por impulsos y las entradas para introducir la materia prima en esta región entre agrupamientos de calentadores por impulsos.

**[0045]** Adicionalmente, la anterior descripción se formuló en términos de utilización de calentadores por impulsos como fuente de calor indirecto proporcionado por los conductos de calentamiento. No obstante, se entiende que el reactor anteriormente descrito puede utilizar fuentes diferentes de calentadores por impulsos para producir el calor que se suministra indirectamente por medio de los conductos 609 de calentamiento. Los ejemplos de dichas otras fuentes incluyen calentadores eléctricos dentro de los conductos de calentamiento, tubos radiantes y similares.

**[0046]** La Fig. 3A muestra una vista lateral de un reactor 300 que no forma parte de la invención. En la descripción que se ofrece a continuación se supone que el reactor es un reformador 300. El reformador 300 comprende un recipiente reformador 302 y un par de módulos 310, 350 de transferencia térmica, uno a cada lado del recipiente reformador 302. El recipiente reformador 302 define un compartimento 303 configurado para recibir un material carbonoso fluidificable. Tal como se observa en la Fig. 3A, dos módulos de transferencia térmica están desplazados verticalmente uno con respecto a otro. En la realización mostrada, el segundo módulo 350 de transferencia térmica está en una posición ligeramente más alta que la del primer módulo 310 de transferencia térmica.

**[0047]** El primer módulo 310 de transferencia térmica incluye una primera cámara acústica 311 y un primer combustor por impulsos 312. El primer combustor por impulsos 312 incluye una cámara 313 de combustión por impulsos conectada a un tubo 314 de escape. Según se observa en la realización de la Fig. 3, la cámara 313 de combustión por impulsos está posicionada encima de la primera cámara acústica 311. Al mismo tiempo, el tubo 314 de escape está dentro de la primera cámara acústica 311 sustancialmente en su totalidad y se extiende en una dirección verticalmente descendente en la misma. Según se observa también en esta realización, la salida 316 del tubo de escape está posicionada aproximadamente a medio camino a lo largo de la extensión vertical de la cámara acústica 311, que tiene una altura de  $2 \times H_3$ . Esto permite que la primera cámara acústica 311 entre en resonancia al producirse la activación del primer combustor por impulsos 312 y que dé como resultado una onda estacionaria en la cámara acústica.

**[0048]** Asentada encima de la cámara 313 de combustión por impulsos se encuentra una cámara 318 de aire que rodea a una válvula 320. La válvula puede comprender una válvula única, o puede comprender una válvula múltiple 320. La válvula 320 proporciona un acceso a la entrada de la cámara 313 de combustión por impulsos, y así permite que entren en ésta última sustancias ustibles 322 tales como combustible y/o gas producto, y aire 324. El aire 324 puede entrar en la cámara 318 de aire y mezclarse con las sustancias ustibles 322 en las proximidades de la salida de la válvula 320 antes de ser inyectado en la cámara 313 de combustión por impulsos.



- 5 **[0049]** Los productos de combustión que salen del extremo 316 del tubo 314 de escape hacia la primera cámara acústica 311 pasan a través de aberturas formadas en una primera pared 332 del recipiente reformador 302 y entran en una pluralidad de tubos 326 de transferencia térmica conectados a la primera pared 332. Los tubos 326 de transferencia térmica pertenecen o bien a un primer haz superior 328U de tubos de transferencia térmica o bien a un primer haz inferior 328L de tubos de transferencia térmica. Los primeros haces superior e inferior 328U, 328L de tubos de transferencia térmica sobresalen hacia el recipiente reformador 302, donde se comunica calor al fluido que se encuentra en su interior.
- 10 **[0050]** Cada haz 328U, 328L, 368U, 368L comprende una pluralidad de tubos de transferencia térmica. Tal como se observa en la Fig. 3B, cada haz 328U, 328L puede comprender una pluralidad de filas 330 de tubos 326. Las filas 330 pertenecientes a un único haz están preferentemente al tresbolillo, tal como se muestra en la Fig. 3B, aunque simplemente pueden estar alineadas verticalmente entre sí. Cada fila 330 puede comprender una pluralidad de tubos 326, quedando limitado el número exacto por el diámetro de los tubos, la separación entre tubos y la longitud L de la pared 332 del recipiente a la cual los tubos 326 están conectados.
- 15 **[0051]** El número total de filas y el número total de tubos 326 de transferencia térmica pueden modificarse en cualquier diseño determinado para adecuarse al tamaño, al tipo de materia prima y al caudal de materia prima del reformador de vapor. Una vez conocidos estos parámetros, el primer combustor por impulsos 312 y la primera cámara acústica 311 se pueden diseñar para adecuarse a la funcionalidad de transferencia térmica. Puesto que el número de filas y el número de columnas pueden variar, un reformador tal como el reformador 300 puede modificarse a escala desde tamaños pequeños a grandes. Con independencia del tamaño total, los tubos 326 de transferencia térmica se pueden configurar dispuestos dentro del recipiente reformador 302 para ayudar a promover el contacto gas-sólido y mitigar la canalización y la derivación del gas/vapor.
- 20 **[0052]** En el reformador 300, el primer combustor por impulsos 312 está por lo tanto físicamente separado con respecto a los tubos 326 de transferencia térmica, aunque acoplado funcionalmente por medio de la primera cámara acústica 311. La primera cámara acústica 311 encierra completamente al tubo 314 de escape, estando situada la salida 316 del tubo de escape cerca del centro geométrico de la cámara acústica. Con el primer combustor por impulsos 312 diseñado como un resonador de Helmholtz y de cuarto de onda, la salida 316 del tubo de escape se corresponde con un antinodo de velocidad, o nodo de presión. La primera cámara acústica 311 está configurada para actuar como generador de ondas estacionarias con antinodos de presión, o nodos de velocidad, en sus extremos 311A, 311B.
- 25 **[0053]** Los dos haces de tubos de transferencia térmica 328U, 328L están posicionados de forma tal que el haz superior 328U está cerca del antinodo de presión en la parte superior 311A de la primera cámara acústica 311, mientras que el haz inferior 328L está cerca del antinodo de presión en el fondo 311B de la primera cámara acústica 311. Esto facilita una transferencia eficiente de la acústica desde el primer combustor por impulsos 312 a los tubos 326 de transferencia térmica de los primeros haces superior e inferior 328U, 328L. Esto proporciona también un lavado periódico de la capa límite y una mejoría del coeficiente de transferencia térmica.
- 30 **[0054]** Tal como se observa en la Fig. 3A, los haces superiores 328U, 368U constituyen un agrupamiento 329U de haces superiores, mientras que los haces inferiores 328L, 368L constituyen un agrupamiento 329L de haces inferiores. El miembro más inferior del agrupamiento 329U de haces superiores está espaciado con respecto al miembro más superior del agrupamiento 329L de haces inferiores por una separación vertical entre agrupamientos D1. La separación vertical entre agrupamientos D1 es sustancialmente mayor que la separación vertical entre filas D2, que es la separación entre filas dentro de los haces. En una realización, la relación de la separación vertical entre agrupamientos D1 con respecto a la separación vertical entre filas D2,  $D1/D2$ , es superior o igual a 2. En algunas realizaciones, la separación vertical entre agrupamientos D1 es también mayor que la altura máxima de agrupamiento D3 correspondiente o bien al agrupamiento 329U de haces superiores o bien al agrupamiento 329L de haces inferiores, entendiéndose que no es necesario que los agrupamientos tengan la misma altura, o el mismo número de filas. En una realización, la relación de la separación vertical entre agrupamientos D1 con respecto a la altura máxima de agrupamiento D3,  $D1/D3$ , es superior o igual a 2. Los agrupamientos inferior y superior 329L y 329U están todos ellos sumergidos dentro del lecho denso 342.
- 35 **[0055]** El segundo módulo 350 de transferencia térmica incluye una segunda cámara acústica 351 y un segundo combustor por impulsos 352. La construcción del segundo combustor por impulsos 352 es similar a la del primer combustor por impulsos 312. El segundo combustor por impulsos 352 comprende así una cámara 353 de combustión por impulsos conectada a un tubo 354 de escape. Se proporcionan también una cámara 358 de aire y una válvula 360 asociadas al segundo combustor por impulsos 352 para la introducción de sustancias ustibles 362 y aire 364.
- 40 **[0056]** Los productos de combustión que salen del tubo 354 de escape hacia la segunda cámara acústica 351 pasan a través de aberturas formadas en una segunda pared 334 del recipiente reformador 302 y entran en una pluralidad de tubos 366 de transferencia térmica conectados a la segunda pared 334. Los tubos 366 de transferencia térmica, que preferentemente presentan la misma construcción que los tubos 326 de transferencia térmica, pertenecen o bien a un
- 45
- 50
- 55
- 60

segundo haz superior 368U de tubos de transferencia térmica o bien a un segundo haz inferior 368L de tubos de transferencia térmica.

5 **[0057]** El compartimento 303 del recipiente reformador 302 incluye una serie de regiones separadas verticalmente entre sí que adoptan diferentes roles funcionales y en las cuales tienen lugar varias actividades.

10 **[0058]** En el fondo del recipiente reformador 302 se encuentra un distribuidor 336 en el cual se introduce un medio 335 de fluidificación, tal como vapor. El tubo 326 de transferencia térmica más inferior está situado más cerca del distribuidor 336 para facilitar una buena comunicación entre la fuente de calor y el sumidero de calor. En una realización, la separación H4 (véase la Fig. 3B) entre el distribuidor 336 y el tubo 326 de transferencia térmica más inferior está entre 0,5 y 1,5 metros. No obstante, también son posibles otras separaciones.

15 **[0059]** A la región por encima del distribuidor 336 y por debajo de la parte superior de los haces inferiores 328L, 368L se le denomina zona 340 de conversión mejorada de residuos carbonosos. La zona 340 proporciona una buena transferencia térmica y de masa y una alta concentración de reactivo (vapor) y facilita la conversión mejorada de residuos carbonosos. La extensión vertical de esta zona dependerá de la reactividad del residuo carbonoso y de las condiciones de funcionamiento del reformador, siendo mayor la extensión vertical cuanto más lenta(s) sea(n) la(s) reacción(es).

20 **[0060]** Entre los haces inferiores 328L, 368L y los haces superiores 328U, 368U se encuentra una zona 342 de secado y desvolatilización con una altura D1, tal como se ha descrito anteriormente. Esta zona propicia una circulación de sólidos, un transporte de calor y un contacto gas-sólido buenos, sirve para maximizar el secado y la desvolatilización, y minimiza la formación de alquitrán y residuo carbonoso. En una realización, una entrada de materia prima, mostrada en general como una flecha 337, termina en una región situada verticalmente entre los haces inferiores 328L, 368L de transferencia térmica y los haces superiores 328U, 268U de transferencia térmica. Así, en esta realización se inyecta materia prima en la zona 342, que está separada de la zona primaria 340 de reacción del residuo carbonoso, en una posición verticalmente por encima de los haces inferiores 328L, 368L de transferencia térmica y por debajo de los haces superiores 328U, 268U de transferencia térmica. Aunque se muestra solamente una única entrada 337 de materia prima, se entiende que esta entrada 337 de materia prima está destinada a representar una pluralidad de dichas entradas. Esta pluralidad de entradas está, cada una de ellas, aproximadamente a la misma altura y están distanciadas entre sí a lo largo de los lados expuestos del recipiente 302 que no están en contacto con las cámaras acústicas 311, 351, tal como se observa mejor en las Figs. 3B y 3C.

35 **[0061]** Finalmente, en la región justo por encima de los haces superiores 328U, 368U se encuentra una región 344 de lecho denso, la cual se extiende hasta la línea superior 346 del lecho denso. Una región 348 de francobordo ocupa la parte más superior del recipiente reformador 302. El gas producto 349 sale de la región 348 de francobordo por medio de ciclones y otros equipos (no mostrados) conocidos para aquellos versados en la materia.

40 **[0062]** En la realización mostrada, el reformador 300 tiene dos módulos 310, 350 de transferencia térmica, cada uno de ellos con una cámara acústica 311, 351 y un combustor por impulsos 312, 352 asociado. Durante el funcionamiento, los dos módulos 310, 350 de transferencia térmica están bajo control de un ordenador para variar la velocidad de quemado y la tasa de transferencia térmica con el fin de adecuarse mejor a la carga del reformador 300 y mejorar la rangeabilidad del reformador.

45 **[0063]** En los combustores por impulsos 312 y 352, la estequiometría de la combustión se puede ajustar de manera independiente sobre la base de la velocidad de quema del combustible para garantizar una combustión completa en los tubos 314, 354 de escape o las cámaras acústicas 311, 351. Además, a las cámaras acústicas 311, 351 se les puede suministrar aire de atemperación y/o gas combustible de reciclaje para regular la temperatura de los gases que entran en los tubos 326, 366 de transferencia térmica y/o minimizar las emisiones de contaminantes. Además, la geometría de los combustores por impulsos 312, 352 con sus cámaras 313, 353, tubos 314, 354 de escape y válvulas 320, 360 asociados se puede diseñar para maximizar el rendimiento de la combustión y acústico, mientras que el haz de transferencia térmica (diámetro y longitud de los tubos protectores, diámetro y longitud de los tubos exteriores y separación o intersticio entre tubos en el haz) se puede diseñar para optimizar el rendimiento de transferencia térmica y la operatividad del lecho fluido. De esta manera, los combustores por impulsos se pueden hacer funcionar para proporcionar una cantidad controlada de calor a los tubos de transferencia térmica con el fin de procesar el material reactivo introducido en el recipiente reformador 302. Aquellos con conocimientos habituales en la técnica del funcionamiento de lechos fluidos están familiarizados con el control del reformador 300, de los combustores por impulsos 312, 352, de la materia prima y del medio de fluidificación. Por consiguiente, a través de dicho control, y en función del material que se esté procesando, el reformador 300 se puede hacer funcionar selectivamente o bien el régimen de lecho con burbujeo o bien en el régimen de fluidificación turbulenta.

**[0064]** La Fig. 4A muestra una vista en sección de corte de una primera realización de una primera sección 400 de pared que pertenece a una pared 332 entre la primera cámara acústica 311 y el recipiente reformador 302. La primera sección 400 de pared comprende una chapa 406 de tubo, que puede comprender en sí misma un material 402 de tipo

refractario encarado a la primera cámara acústica 311. En esta realización, la sección 400 de pared comprende un par de chapas 406, 408 de tubo que, juntas, forman una pared 404 de membrana anular interrumpida por tubos de transferencia térmica que sobresalen hacia el interior.

5 **[0065]** Cada tubo 326, 328 de transferencia térmica tiene un diseño anular, y comprende un tubo protector interior 410 y un tubo exterior 412 ligeramente más largo (“tubo de transferencia térmica de lecho fluido”) que definen un espacio anular entre ellos. La chapa 406 de tubo interior (que en realidad es la chapa de tubo más exterior con respecto al recipiente reformador 302) sustenta los tubos protectores interiores 410 que pertenecen a un haz. Al mismo tiempo, la  
10 chapa 408 de tubo exterior (que en realidad es la chapa de tubo más interior con respecto al recipiente reformador 302) sustenta los tubos exteriores 412 que pertenecen a un haz. En una realización, la chapa 408 de tubo exterior o bien está soldada a la pared 332 del recipiente en puntos predeterminados, o bien está emperrada a la misma a través de una conexión de bridas. De modo similar, la chapa 406 de tubo interior está también embridada y emperrada a una parte de desacoplador adyacente a la pared 332 del recipiente.

15 **[0066]** Los productos de combustión, tales como el gas de escape emitido desde un tubo de escape, fluyen desde la cámara acústica al tubo protector interior 410, según se representa mediante las flechas 413. El gas de escape se desplaza en primer lugar en una dirección que se aleja de la pared 332, a lo largo de un primer canal 409 que comprende el centro hueco del tubo protector interior 410 y hacia la pared final 411 del tubo de transferencia térmica. El  
20 gas de escape se da a continuación la vuelta y fluye en una dirección hacia la pared 332 a través de un segundo canal 415 definido por un espacio anular formado entre los tubos protectores interior y exterior 410, 412, según se indica por medio de la flecha 414. El segundo canal 415 está en comunicación fluidica con un colector 416 formado entre dos chapas 406, 408 de tubo. Por lo tanto, a partir del segundo canal 415, el gas de escape entra en el colector 416, desde donde es dirigido hacia un conducto 417 de gas de escape, tal como se indica mediante la flecha 418.

25 **[0067]** A medida que se desplazan por el tubo protector interior 410, los gases de escape de su interior calientan los gases que van en la dirección opuesta dentro de la región anular entre los tubos protectores interior y exterior 410, 412, respectivamente. Los gases de escape del espacio anular tienden a enfriarse a medida que fluyen desde la entrada del espacio anular debido a la transferencia térmica al lecho fluido, aunque se recalientan en parte por la transferencia  
30 térmica proveniente de los gases de escape del tubo protector interior 410.

**[0068]** Esta disposición puede eliminar la necesidad de juntas de dilatación térmica dentro del recipiente reformador y los costes asociados de capital, de explotación y de mantenimiento. Además, el diseño de tubo protector-espacio anular fomenta una temperatura del gas casi uniforme en la superficie exterior del tubo exterior 412, reduciendo así el potencial  
35 de aparición de puntos calientes locales en el tubo exterior 412. También ayuda a potenciar la transferencia térmica al lecho fluido dentro del recipiente reformador. En una realización, la sección transversal y la longitud de los tubos 410 y 412 se seleccionan de tal manera que el haz de transferencia térmica y la correspondiente parte de la cámara acústica funcionan como un resonador de Helmholtz y/o de cuarto de onda.

**[0069]** Según se observa en las Figs. 4B, 4C y 4D, las chapas 406, 408 de tubo se pueden refrigerar con agua, utilizando una construcción de pared de membrana. La chapa 406 de tubo exterior sustenta un cabezal 420A de entrada que está espaciado verticalmente con respecto a un cabezal 422A de salida. Se bombea agua 424A al cabezal 420A de  
40 entrada, la misma se desplaza hacia arriba a través de una pluralidad de tubos 404 de refrigeración y entra en el cabezal 422A de salida. A continuación, de este cabezal 422A de salida sale una mezcla 426A de agua/vapor. De manera similar, la chapa 408 de tubo interior sustenta un cabezal 420B de entrada que está espaciado verticalmente  
45 con respecto a un cabezal 422B de salida. Se bombea agua 424B hacia el cabezal 420B de entrada, la misma se desplaza hacia arriba a través de una pluralidad de tubos 428 de refrigeración y entra en el cabezal 422B de salida. A continuación, de este cabezal 422B de salida sale una mezcla 426B de agua/vapor.

**[0070]** Se entiende que, en algunas realizaciones, se proporcionarían para la cámara acústica 311 por lo menos dos de estas secciones 400 de pared, una asociada al conjunto inferior de tubos de transferencia térmica, y otra asociada al conjunto superior de tubos de transferencia térmica. Se entiende además que en un reformador 304 de la clase que se ve en la Fig. 3, cada cámara acústica 311, 351 tendría dos de estas secciones de pared asociadas a la misma, dos asociadas a la pared 332 y otras dos asociadas a la pared 334, para un acumulado de cuatro secciones de pared de este tipo en total.  
50

**[0071]** Se entiende además que la pared 334 tiene una sección de pared similar, y por tanto los dos módulos 310, 350 de transferencia térmica trasladan sus gases de escape al recipiente de reacción común.  
55

**[0072]** La Fig. 5A muestra una vista en sección de corte de una segunda realización de una sección 500 de pared perteneciente a una pared 332 entre la primera cámara acústica 311 y el recipiente reformador 302. La sección 500 de pared comprende una primera camisa 532 de agua, la cual puede comprender un material 502 de tipo refractario, encarada a la cámara acústica. Cada uno de los tubos de transferencia térmica comprende un tubo protector interior 510 y un tubo exterior 512 ligeramente más largo que definen un espacio anular situado entre ellos.  
60

5 [0073] En esta realización, un par de camisas 532, 534 de agua rodea los tubos de transferencia térmica. La primera  
camisa 532 de agua está formada a partir de un primer par de chapas 542A, 542B de tubo, mientras que la segunda  
camisa 534 de agua está formada a partir de un segundo par de chapas 544A, 544B de tubo. La camisa 532 de agua de  
los tubos protectores interiores refrigera los tubos protectores interiores 510 del haz, mientras que la camisa 534 de  
10 agua de los tubos exteriores refrigera los tubos exteriores 512 del haz. Tal como se observa en la realización de las  
Figs. 5B y 5C, las camisas 532, 534 de agua pueden presentar una cara circular cuando se observan desde el  
recipiente reformador. Las camisas de agua pueden presentar, de manera alternativa, una cara rectangular si la presión  
de vapor es relativamente baja, o si su periferia se puede reforzar adecuadamente para satisfacer los requisitos de  
presión del recipiente reformador.

10 [0074] En la realización de la Fig. 5A, los productos de combustión, tales como el gas de escape emitido desde un tubo  
de escape, fluyen desde la cámara acústica hacia el tubo protector interior 510, según se representa mediante las  
flechas 513. El gas de escape se desplaza por el tubo protector interior 510 hasta su extremo, da la vuelta y fluye a  
través del espacio anular exterior, tal como se indica mediante la flecha 514. El gas de escape entra a continuación en  
15 un colector 516 formado entre las dos camisas 532, 534 de agua. Desde el colector, el gas de escape es dirigido hacia  
un conducto 517 de gases de combustión, según se indica mediante la flecha 518, y desde allí sale del recipiente  
reformador, tal como se indica por medio de la flecha 519.

20 [0075] En los esquemas anteriores, los combustores por impulsos 312, 352 se muestran con válvulas únicas 320, 360,  
respectivamente, y tubos 314, 354 de escape únicos, respectivamente. No obstante, se entiende que los combustores  
por impulsos 312, 352 pueden comprender, cada uno de ellos, una pluralidad de dichas válvulas y/o una pluralidad de  
tubos de escape, según sea necesario.

25 [0076] El reformador puede configurarse para funcionar en un régimen de fluidificación turbulenta, y el medio de  
fluidificación puede constar de uno del grupo de vapor, aire, aire enriquecido, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono,  
gas producto de reciclaje, y mezclas de los mismos.

30 [0077] Adicionalmente, aunque la anterior descripción se enmarca en el contexto de la conversión de energía y la  
producción de gas sintético, debería indicarse que el reactor 300 dado a conocer también se puede utilizar de manera  
fructífera para procesar cualquier material reactivo usando planteamientos termoquímicos y/o bioquímicos. Los  
materiales reactivos que se contemplan en la presente incluyen no solamente materiales carbonosos, sino también  
inorgánicos, entre otros. Se entiende que aquellos con conocimientos habituales en la técnica del funcionamiento de los  
lechos fluidos están familiarizados con el control del reactor, de los combustores por impulsos, de las entradas de  
35 materia prima y del medio de fluidificación para procesar termoquímica o bioquímicamente toda una gama de diferentes  
materiales reactivos.

## REIVINDICACIONES

1. Reactor (600) de lecho fluido configurado para procesar termoquímica o bioquímicamente un material reactivo, comprendiendo el reactor:
- 5 un recipiente (602) de reacción que define un compartimento (601) adecuado para recibir un material reactivo;
- 10 un primer agrupamiento (610) de conductos (609) de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento (601) y que se extienden durante una primera extensión vertical (V1) dentro del compartimento (601), estando configurado cada conducto (609) de calentamiento en el primer agrupamiento (610) para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento (601), presentando los conductos (609) de calentamiento del primer agrupamiento (610) un primer grosor (T1);
- 15 un segundo agrupamiento (620) de conductos de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento (601) y que se extienden durante una segunda extensión vertical (V2) dentro del compartimento (601), estando configurado cada conducto de calentamiento del segundo agrupamiento (620) para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento (601), presentando los conductos de calentamiento del segundo agrupamiento (620) un segundo grosor (T2), estando posicionado el segundo agrupamiento (620) de conductos de calentamiento verticalmente por encima del primer agrupamiento (610) de conductos (609) de calentamiento y espaciado de este último por una primera distancia (S1) de separación, siendo la primera distancia (S1) de separación por lo menos tan grande como el menor del primer y el segundo grosores (T1, T2), definiendo la primera distancia (S1) de separación una zona en el recipiente (602) de reacción entre el primer agrupamiento (610) y el segundo agrupamiento (620) que está configurada para propiciar una buena circulación de sólidos; y
- 20 una pluralidad de entradas (637) de materia prima configuradas para introducir un material reactivo en el recipiente (602) de reacción en una región que está verticalmente entre el primer y el segundo agrupamientos (610, 620) de conductos (609) de calentamiento;
- 30 caracterizado por que cada conducto de calentamiento de dichos primer y segundo agrupamientos (610, 620) es un tubo (609) de resonancia de uno respectivo de una pluralidad de calentadores por impulsos (608A, 608B), o, dentro de los conductos de calentamiento, hay calentadores eléctricos.
- 35 2. Reactor (600) de lecho fluido según la reivindicación 1, en el que la primera distancia de separación (S1) es por lo menos tan grande como la menor de entre la primera y la segunda extensiones verticales (V1, V2).
- 40 3. Reactor de lecho fluido según la reivindicación 2, en el que la primera distancia de separación (S1) es por lo menos el doble de grande que la menor de entre la primera y la segunda extensiones verticales (V1, V2).
- 45 4. Reactor (600) de lecho fluido según la reivindicación 1, en el que por lo menos uno (620) del primer y el segundo agrupamientos (610, 620) de conductos (609) de calentamiento comprende dos (614A, 614B) o más filas de conductos de calentamiento.
- 50 5. Reactor (600) de lecho fluido según la reivindicación 4, en el que, dentro del por lo menos uno (620) del primer y el segundo agrupamientos (610, 620), filas adyacentes (614A, 614B) de conductos de calentamiento están dispuestas al tresbolillo.
6. Reactor (600) de lecho fluido según la reivindicación 1, en el que tanto el primer como el segundo agrupamientos de conductos de calentamiento comprenden dos o más filas de conductos de calentamiento.
7. Reactor (600) de lecho fluido según la reivindicación 6, en el que, dentro de cada agrupamiento, filas adyacentes de conductos de calentamiento están dispuestas al tresbolillo.
- 55 8. Método de procesado termoquímico o bioquímico de un material reactivo para formar un producto, comprendiendo el método:
- proporcionar un reactor (600) de lecho fluido que comprende:
- 60 un recipiente (602) de reacción que define un compartimento (601) adecuado para recibir un material reactivo;
- un primer agrupamiento (610) de conductos (609) de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento (601) y que se extienden durante una primera extensión vertical (V1) dentro del

compartimento (601), estando configurado cada conducto (609) de calentamiento en el primer agrupamiento (610) para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento (601), presentando los conductos (609) de calentamiento del primer agrupamiento (610) un primer grosor (T1); y

5 un segundo agrupamiento (620) de conductos de calentamiento que ocupan por lo menos parcialmente dicho compartimento (601) y que se extienden durante una segunda extensión vertical (V2) dentro del compartimento (601), estando configurado cada conducto de calentamiento del segundo agrupamiento (620) para transferir calor desde una fuente de calor al compartimento (601), presentando los conductos de calentamiento del segundo agrupamiento (620) un segundo grosor (T2), estando posicionado el segundo  
10 agrupamiento (620) de conductos de calentamiento verticalmente por encima del primer agrupamiento (610) de conductos (609) de calentamiento y espaciado de este último por una primera distancia de separación (S1), siendo la primera distancia de separación (S1) por lo menos tan grande como el menor del primer y el segundo grosores (T1, T2), definiendo la primera distancia de separación (S1) una zona en el recipiente (602) de reacción entre el primer agrupamiento (610) y el segundo agrupamiento (620) que está configurada para propiciar una buena circulación de sólidos;

15 introducir un medio de fluidificación en el compartimento (601);

20 introducir material reactivo en el compartimento (601) en una región que está verticalmente entre el primer y el segundo agrupamientos (610, 620) de conductos (609) de calentamiento; y

controlar una reacción en el recipiente (602) de reacción tal que por lo menos una parte del material reactivo se convierta en uno o más productos en un lecho fluidificado;

25 caracterizado por

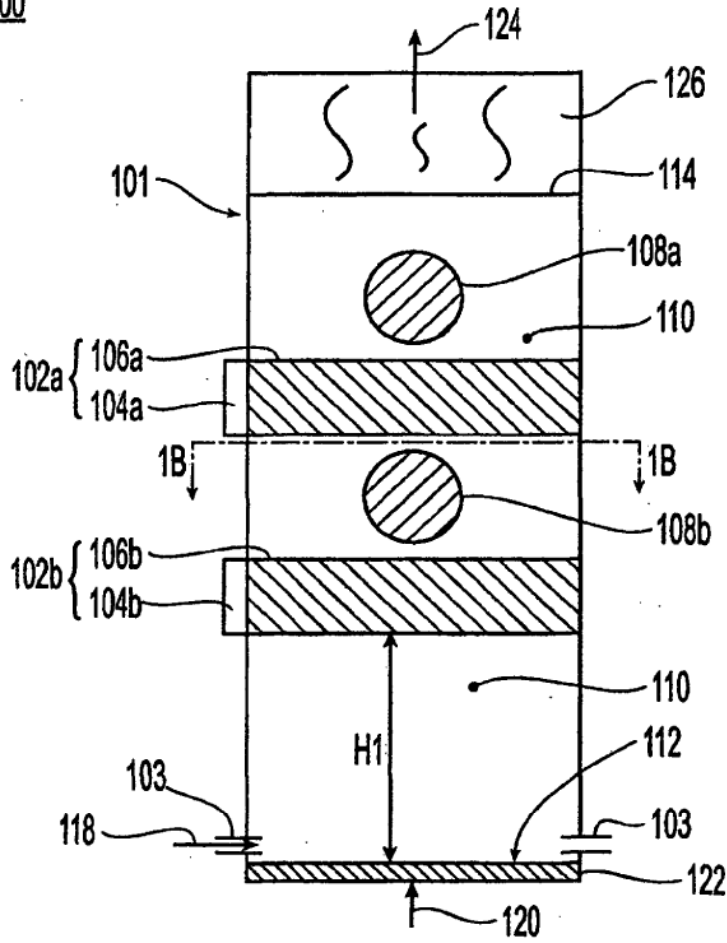
proporcionar al recipiente (602) de reacción una pluralidad de calentadores por impulsos (608A, 608B), incluyendo cada calentador por impulsos (608A, 608B) un tubo (609) de resonancia que actúa como uno respectivo de dichos conductos de calentamiento; y en donde

30 el control de una reacción en el recipiente (602) de reacción comprende controlar el funcionamiento de dichos calentadores por impulsos (608A, 608B).

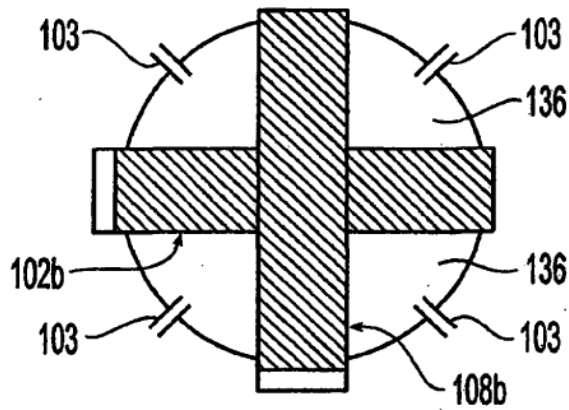
9. Método según la reivindicación 8, en el que el recipiente (602) de reacción se hace funcionar en un régimen de fluidificación turbulenta.

10. Método según la reivindicación 9, en el que el medio de fluidificación es uno del grupo compuesto por vapor, aire, aire enriquecido, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, gas producto de reciclaje, y mezclas de los mismos.

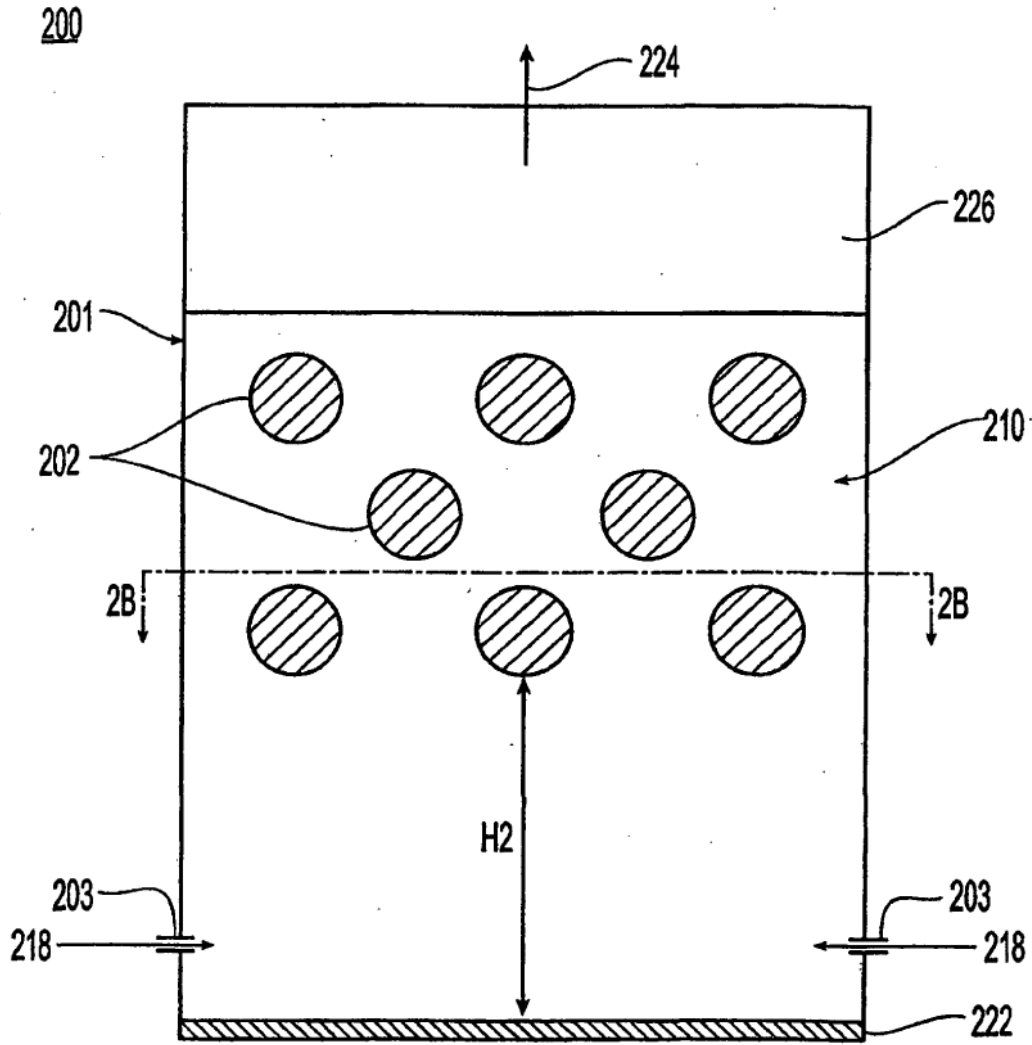
100



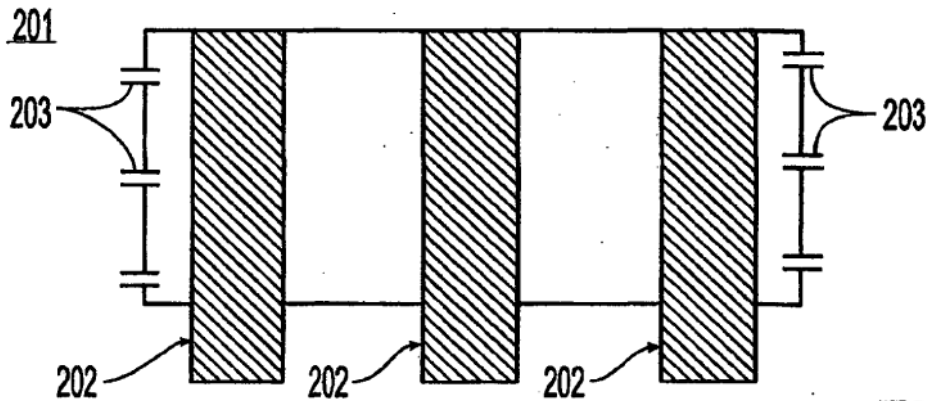
**Fig. 1A**  
(Técnica anterior)



**Fig. 1B**  
(Técnica anterior)



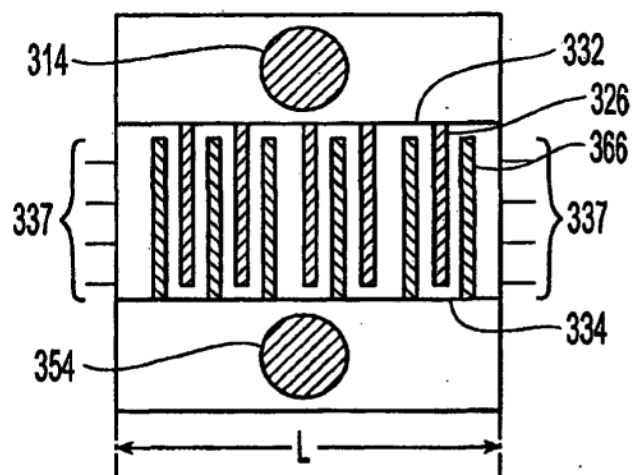
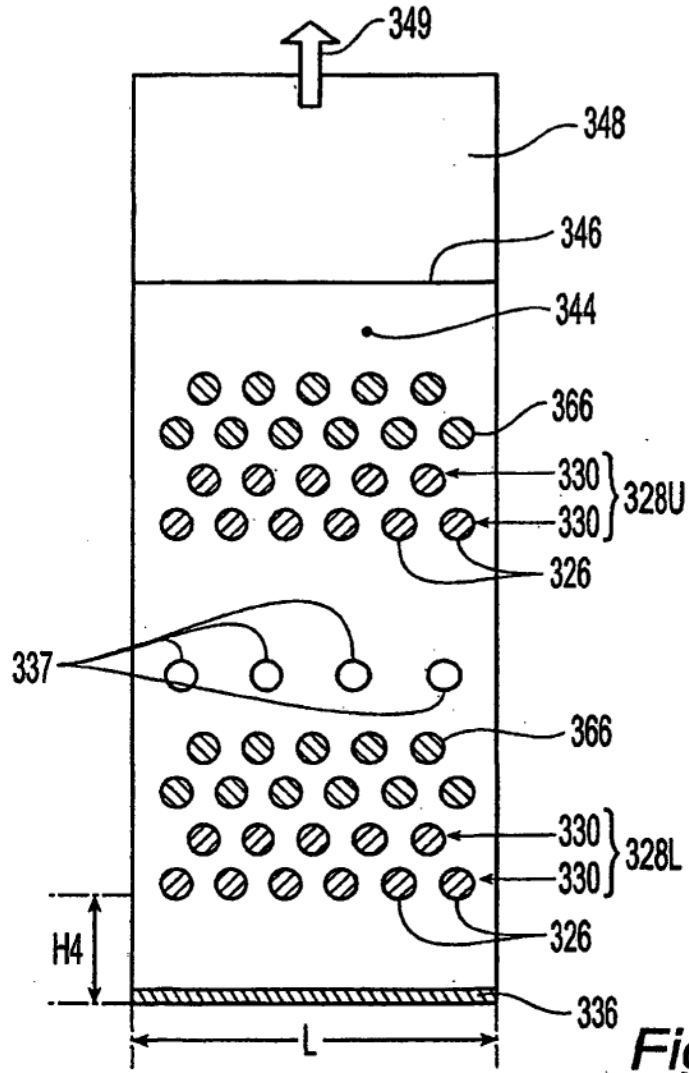
**Fig. 2A**  
(Técnica anterior)



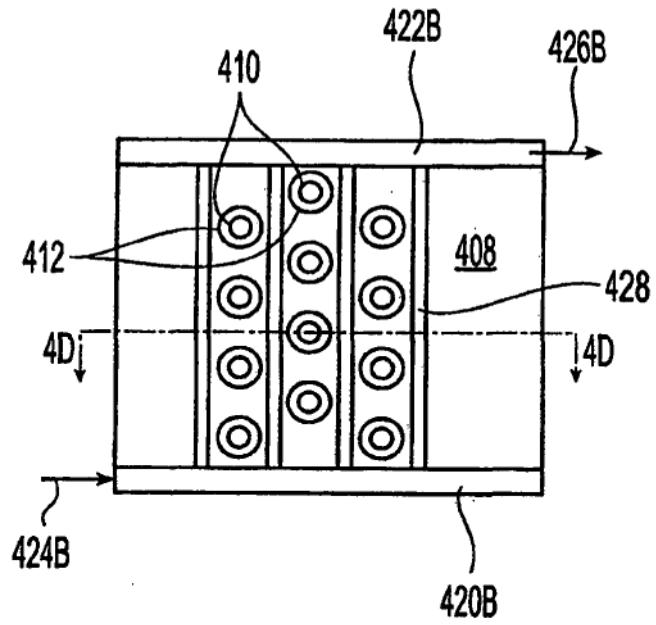
**Fig. 2B**  
(Técnica anterior)



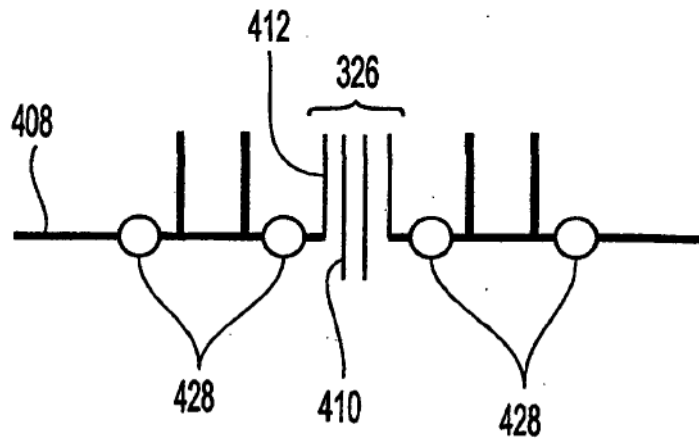




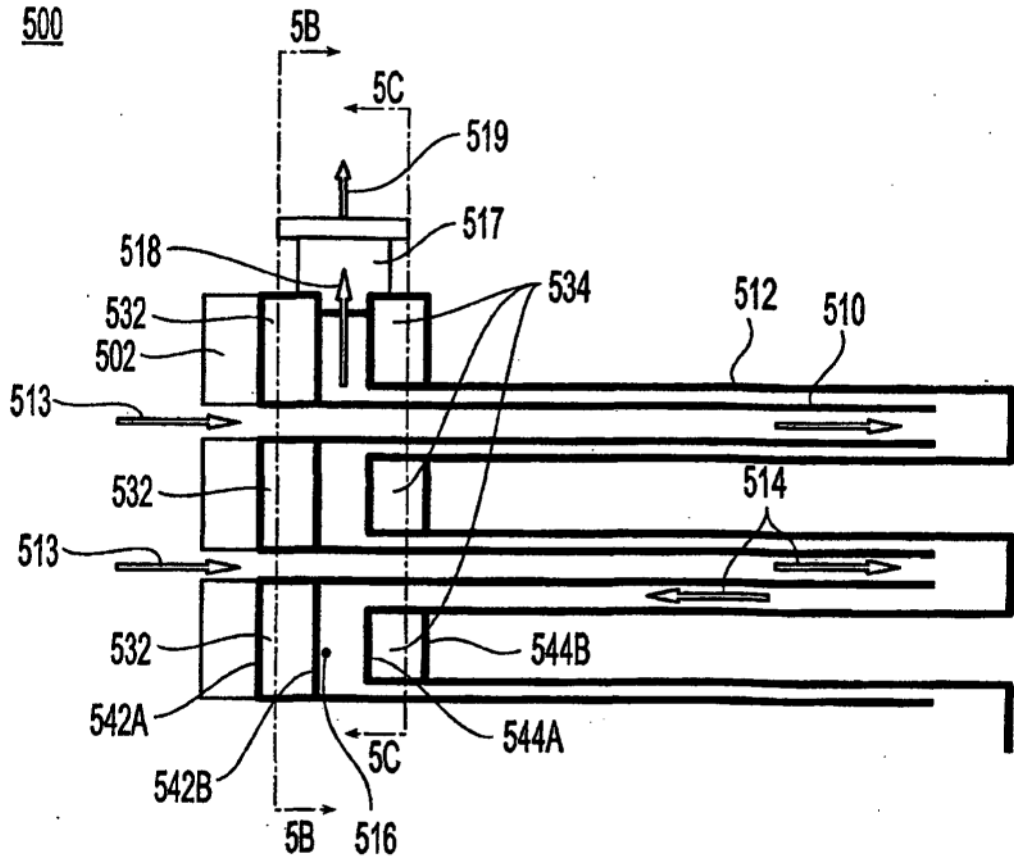




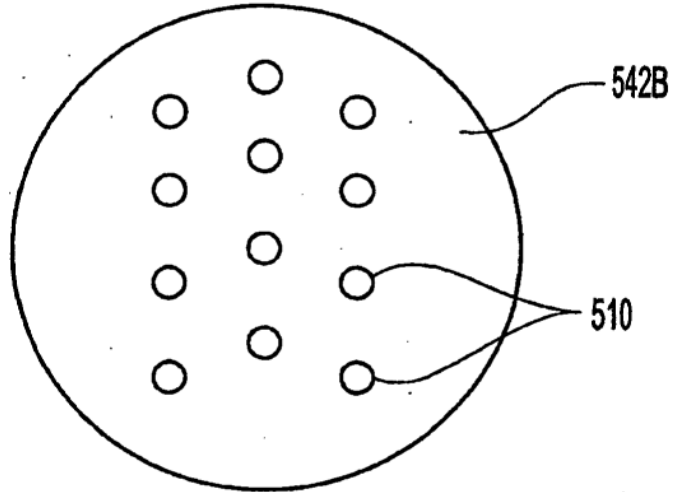
*Fig. 4C*



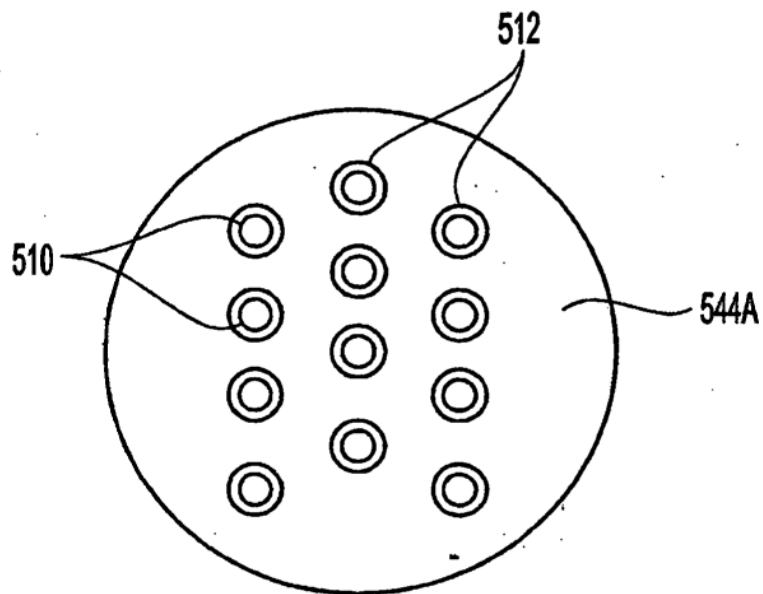
*Fig. 4D*



*Fig. 5A*



**Fig. 5B**



**Fig. 5C**

600

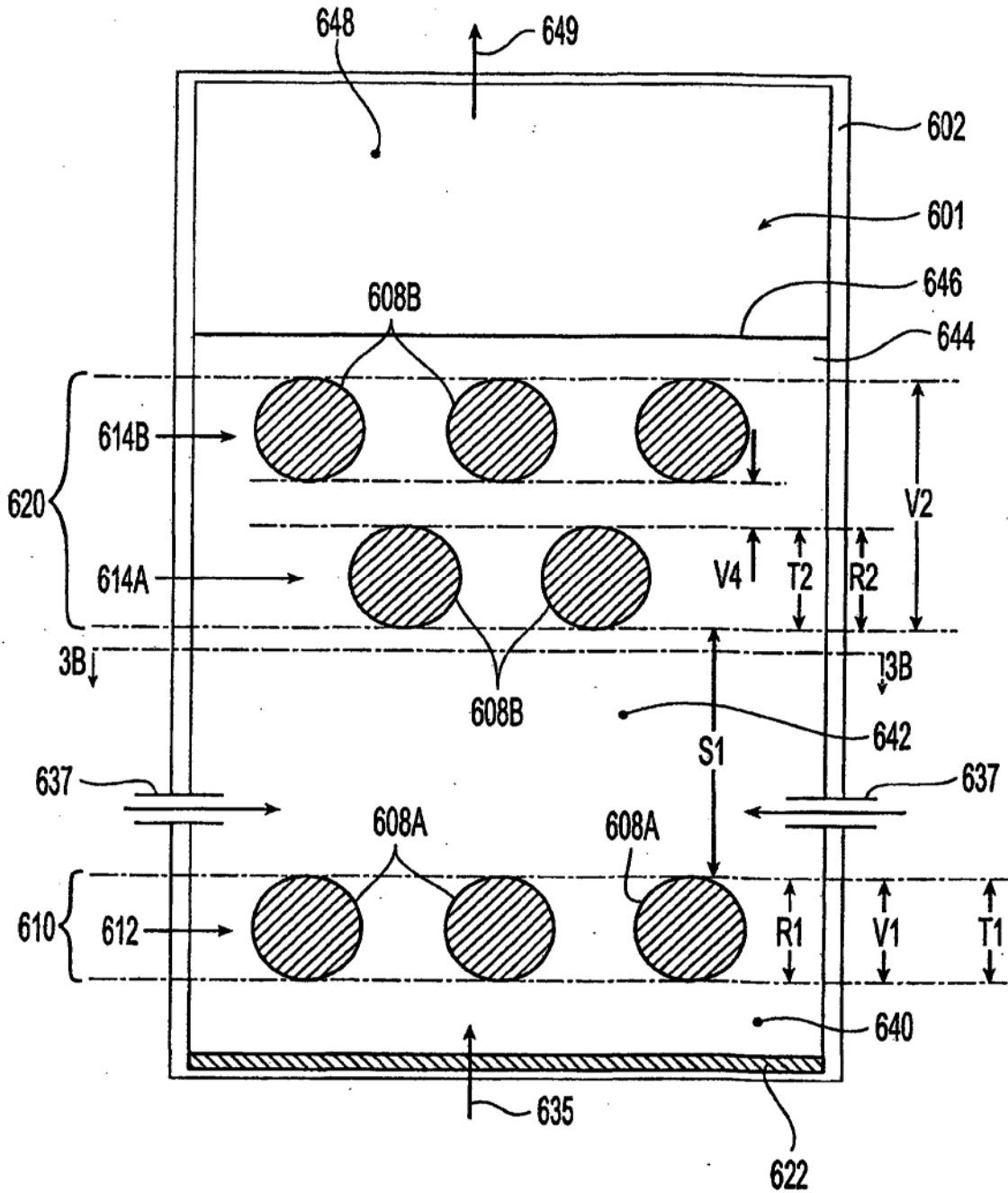
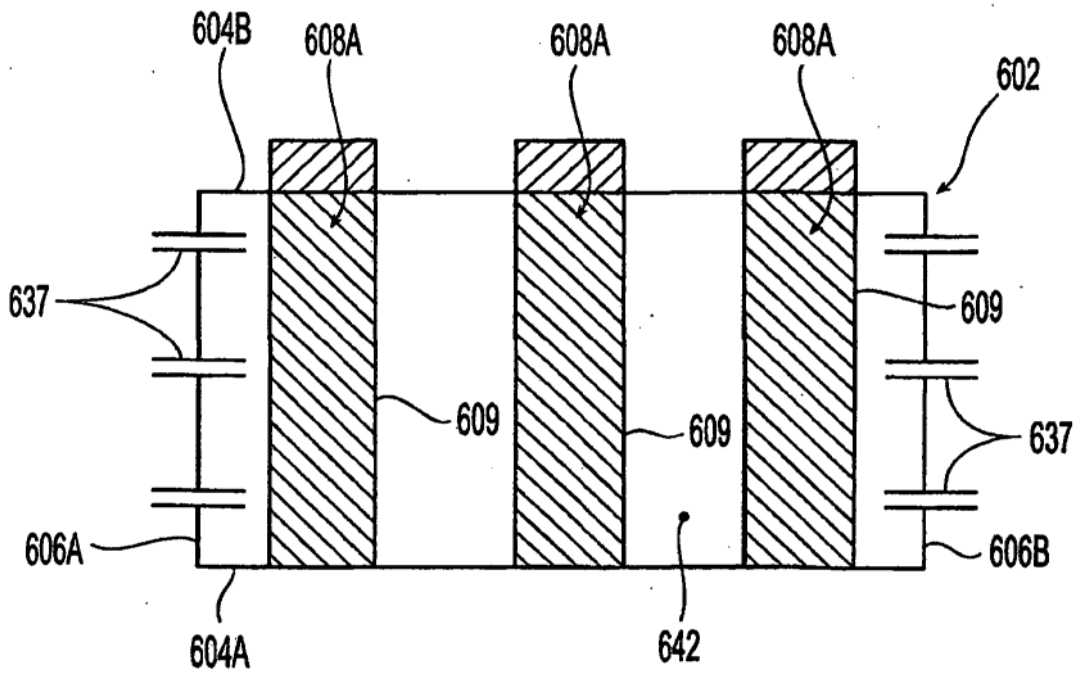


Fig. 6A



*Fig. 6B*