



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 363 613**

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 Número de solicitud europea: **07761021 .0**

96 Fecha de presentación : **20.04.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2015864**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.01.2009**

54

Título: **Reactor de lecho fluidizado que tiene un módulo de transferencia de calor tipo combustor pulsatorio.**

30

Prioridad: **24.04.2006 US 409837**
08.05.2006 US 429917

73

Titular/es:
THERMOCHEM RECOVERY INTERNATIONAL, Inc.
3700 Koppers Street, Suite 405
Baltimore, Maryland 21227, US

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.08.2011

72

Inventor/es: **Chandran, Ravi**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.08.2011

74

Agente: **Mir Plaja, Mireia**

ES 2 363 613 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 fluidizado que tiene un módulo de transferencia de calor tipo combustor pulsatorio

5 **Campo de la invención**

10 [0001] La presente invención se refiere a un reactor de lecho fluidizado para procesar un material reactivo, el cual puede incluir a materiales inorgánicos y también materiales carbonosos, tales como licor negro y biomasa, para procesar y/o reciclar materiales y extraer energía. Más en particular, la invención se refiere a un dispositivo de este tipo que tiene uno o varios combustores pulsatorios dispuestos en agrupaciones distanciadas verticalmente. Los tubos de resonancia de los combustores pulsatorios pueden estar dispuestos de forma tal que no sobresalgan al interior del compartimento del recipiente de reacción.

15 **Antecedentes de la invención**

20 [0002] Las Figuras 1A y 1B muestran respectivamente vistas lateral y desde lo alto de un reactor del estado de la técnica que está 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 varios calentadores pulsatorios 102A, 102B, cada uno de los cuales comprende un combustor pulsatorio 104A, 104B conectado a un respectivo tubo de resonancia 106A, 106B. Como se ve en la Fig. 1A, los calentadores pulsatorios 102A, 102B discurren en una dirección diametral de una a otra parte del cilindro. Aire y productos combustibles entran en los combustores pulsatorios 104A, 104B, y salen de los tubos de resonancia 106A, 106B los productos de combustión o gases de combustión.

25 [0003] Los calentadores pulsatorios 102A, 102B son de la clase que se da a conocer en la Patente U.S. N° 5.059.404, cuyo contenido queda incorporado a la presente por referencia en la medida necesaria para comprender la presente invención. Tales calentadores pulsatorios están configurados para calentar indirectamente los fluidos y sólidos que se introducen en un recipiente de reacción de reformado 101. Los tubos de resonancia 106A, 106B asociados a los calentadores pulsatorios 102A, 102B sirven de conductos calentadores para calentar indirectamente el contenido del compartimento 101.

30 [0004] Como se ve en las Figs. 1A y 1B, los de un segundo par de calentadores pulsatorios 108A, 108B están orientados a ángulo recto con respecto a los del primer par de calentadores pulsatorios 102A, 102B a lo largo del diámetro del compartimento. Como se ve en la Fig. 1B, esto deja unos cuadrantes 136 que discurren verticalmente dentro del compartimento 101 en zonas definidas por los calentadores pulsatorios que se cruzan.

35 [0005] Los calentadores pulsatorios están sumergidos en un lecho fluidizado denso 110 que se extiende desde el fondo 112 del compartimento hasta aproximadamente la línea superior 114 del lecho. El calentador pulsatorio más inferior 102B está situado a una altura H1 unos metros más arriba del distribuidor 122 para evitar que los tubos de resonancia 104B sean pintados con licor 118. En algunos sistemas del estado de la técnica, la altura H1 es de aproximadamente 2-3 metros.

40 [0006] El licor gastado 118 es inyectado en el lateral del compartimento 101 cerca del fondo del lecho fluidizado denso 110. Hablando en general, el licor gastado es introducido en el compartimento a través de una pluralidad de entradas 103 que están dispuestas circunferencialmente en torno al compartimento cilíndrico 101. A pesar de que en la Fig. 1B se muestran tan sólo cuatro entradas 103 de este tipo, se entiende que pueden preverse otros números de entradas dispuestas circunferencialmente. En otras realizaciones del estado de la técnica, el licor gastado puede ser introducido por el fondo del compartimento 101 a través de una pluralidad de entradas distribuidas más o menos uniformemente en el fondo, quizá dispuestas en una disposición ordenada o en otra disposición.

45 [0007] Vapor recalentado 120 u otro medio de fluidización entra desde el fondo del compartimento 101 y pasa a través de un distribuidor 122. El distribuidor 122 ayuda a extender uniformemente el vapor entrante 120, que luego percola a través del lecho fluidizado denso 110. El gas producto 124 sale desde una zona de francobordo 126 situada en la parte superior del compartimento 101 tras haber pasado por uno o varios ciclones internos (no ilustrados) que se usan para ayudar a suprimir los sólidos del lecho arrastrados.

50 [0008] Las Figs. 2A y 2B muestran una configuración alternativa del estado de la técnica realizada en forma de un reformador rectangular 200. El reformador rectangular 200 tiene un compartimento 201 que tiene una sección transversal rectangular visto desde lo alto (véase la Fig. 2B). Atraviesan este compartimento 201 los de una pluralidad de calentadores pulsatorios 202 dispuestos en una o varias hileras. Los calentadores de las distintas hileras están dispuestos al tresbolillo relativamente entre sí para así acrecentar la transferencia de calor. Cada uno de estos calentadores pulsatorios 202 comprende un conducto calentador realizado en forma de un tubo de resonancia para calentar indirectamente el contenido del compartimento 201.

5 [0009] Un distribuidor 222 está previsto en el fondo del compartimento 201, muy al igual como en el caso del reformador cilíndrico 100. Los calentadores pulsatorios 202 más inferiores están situados a una altura H2 encima del distribuidor 222. En algunos sistemas del estado de la técnica, esta altura H2 es de nuevo de aproximadamente 2-3 metros. Además, exactamente como el caso del reformador cilíndrico, el licor gastado 218 es introducido en el lateral del
10 compartimento 201 cerca de su fondo. Hablando en general, el licor gastado es introducido en el compartimento a través de una pluralidad de entradas 203 que están dispuestas a lo largo de las paredes en torno al compartimento rectangular 201. En otras realizaciones del estado de la técnica, el licor gastado puede ser introducido por el fondo del compartimento 201 a través de una pluralidad de entradas distribuidas más o menos uniformemente en el fondo, quizá
15 dispuestas en una disposición ordenada o en otra disposición. Al mismo tiempo, el gas producto 224 sale desde una zona de francobordo 226 situada en la parte superior del compartimento 201. Se entiende que el funcionamiento del reformador rectangular 200 es en la mayoría de los aspectos esenciales similar al del reformador cilíndrico 100 que se ha descrito anteriormente.

15 [0010] Los sistemas anteriormente descritos parecen funcionar satisfactoriamente en instalaciones de desarrollo de procesos a pequeña escala. Sin embargo, los mismos pueden toparse con ciertas limitaciones cuando se usan para hacer instalaciones a mayor escala.

20 [0011] Un problema es la presencia de cuadrantes expeditos (véase la Fig. 1B) donde no hay tubos, o la presencia de zonas donde hay espacio libre entre haces de calentadores pulsatorios (véase la Fig. 2B), pudiendo ambas cosas favorecer la canalización de vapor/gas y la entrada en derivación del vapor/gas, lo cual resulta perjudicial para el contacto entre el gas y los sólidos y la velocidad de circulación de sólidos. Además, la presencia de tales grandes conductos verticales promueve la formación de grandes burbujas de gas que, en virtud de su rápido incremento de tamaño y velocidad, pueden dañar tuberías, tubos, conexiones y otros accesorios dentro del reformador.

25 [0012] Otro problema es el de que una reducida velocidad de circulación de sólidos conduce a unos más largos tiempos de contacto de las partículas con la superficie del tubo de resonancia. Esto obstaculiza la convección de partículas y, a su vez, la transferencia de calor desde los tubos. En consecuencia, los tubos tienden a ponerse más calientes, y esto afecta desfavorablemente la velocidad a la que el calor es evacuado al lecho e incrementa la temperatura de salida del gas de combustión desde los calentadores pulsatorios 102A, 102B, 202. Adicionalmente, hay una mayor propensión a la
30 aparición de puntos calientes locales, que pueden conducir a la formación de masas fundidas y/o a la aglomeración de partículas y a la formación de incrustaciones o adherencias en torno a unos pocos tubos o a muchos tubos.

35 [0013] Aun otra limitación puede ser la de que el estrecho acoplamiento de la cámara de combustión con los tubos de resonancia hace que sea necesario minimizar el paso o espaciado de tubo a tubo, y a su vez el intersticio entre los tubos de resonancia. Esto se hace para facilitar una razonable relación de forma (longitud a diámetro) para la cámara de combustión. Y puesto que el calentador pulsatorio está típicamente diseñado como un resonador de Helmholtz, el mismo debe mantener 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 de calor entre los tubos y el lecho fluidizado indican un significativo mejoramiento del coeficiente de transferencia de calor con un
40 incremento del paso o intersticio entre tubos en un haz de tubos. Esto es debido a la reducción de la resistencia al movimiento de los sólidos al aumentar el espacio entre tubos, lo cual promueve una más frecuente renovación superficial o convección de partículas, y a su vez, un mayor coeficiente de transferencia de calor. Sin embargo, la disposición que se ve en la Fig. 1B limita el intersticio entre tubos a un valor que es muy inferior al óptimo desde los puntos de vista de la transferencia de calor al lecho fluidizado y de la capacidad de funcionamiento.

45 [0014] Además, una mayor parte de la combustión y de la liberación de calor tiene lugar en la cámara de combustión pulsatoria. Sin embargo, la combustión continúa en el tubo de resonancia aunque a menor velocidad debido a la más baja temperatura de los gases en el tubo de resonancia. La combustión y liberación de calor residual en el tubo de resonancia es deseable desde el punto de vista de la transferencia de calor, pero insatisfactoria si la combustión es
50 incompleta y da lugar a importantes concentraciones de CO e hidrocarburos no quemados en el gas de combustión de la exhaustación. La probabilidad de que se dé este resultado aumenta al disminuir la tasa de encendido de combustible en el combustor en comparación con la tasa de encendido nominal.

55 [0015] Por añadidura, tras su inyección al interior del lecho fluidizado 110 los materiales carbonosos a procesar experimentan secado, desvolatilización, formación de hulla residual y conversión de hulla residual. En un ambiente de reformado con vapor todos estos procesos son endotérmicos, es decir que requieren una aportación de calor. Cuanto mayor sea la velocidad de circulación de los sólidos del lecho y cuanto más uniforme sea la distribución de los materiales a procesar en el lecho, tanto mayor será la velocidad de calentamiento y tanto más alta será la temperatura final de los materiales a procesar. Esto acrecienta la descomposición térmica de la materia orgánica y conduce a una
60 mayor producción de volátiles y a una menor formación de alquitrán y producción de hulla residual. Con una configuración de lecho fluidizado y calentadores pulsatorios que promueva la canalización y formación de derivaciones de gas/vapor, se dan unas condiciones que van en detrimento de la velocidad de circulación de sólidos. Esto estorba el transporte de calor a la zona de inyección de los materiales a procesar, hace que disminuya la temperatura en esta zona y promueve la formación de alquitrán y hulla residual.

5 **[0016]** Aun otro problema es el de que los procesos de secado, desvolatilización, formación de hulla residual y conversión de hulla residual compiten todos ellos por la transferencia de calor y la transferencia de masa en la zona que está encima del distribuidor 122, 222 pero debajo del calentador pulsatorio inferior. Todos estos procesos son sumideros de calor y el medio de fluidización entrante 120 puede ser otro sumidero de calor si es vapor y está a una temperatura inferior a la del lecho fluidizado. Las únicas fuentes de calor son los calentadores pulsatorios y éstos están considerablemente separados de los sumideros de calor por las susodichas distancias H1 y H2 en las realizaciones del estado de la técnica que se han descrito anteriormente. El único nexo es la velocidad de circulación de sólidos, y si ésta no está a la altura, la zona de inyección del material a procesar está hambrienta de calor y se ve deteriorado el rendimiento del reactor.

15 **[0017]** Por añadidura, tanto la transferencia de calor como la transferencia de masa son importantes para una satisfactoria conversión de la hulla residual. Cuanto más altas sean la temperatura de la hulla residual y la concentración de reactivo o vapor, tanto mayor será la tasa de conversión de la hulla residual. La zona que está situada justo encima del distribuidor está caracterizada por una alta concentración de vapor o reactivo, lo cual es favorable para la conversión de la hulla residual, siempre que la temperatura de la hulla residual pueda ser mantenida al nivel de la temperatura del lecho fluidizado. Debido a la inyección de los materiales a procesar y a la reducida velocidad de circulación de sólidos, la aportación de calor es limitada, lo cual es probable que haga que disminuya la temperatura de la hulla residual y a su vez la tasa de conversión de la hulla residual. En la zona de los calentadores pulsatorios, la transferencia de calor es buena pero la transferencia de masa puede ser insatisfactoria si el reactivo (vapor) entra en derivación debido a la canalización, lo cual resulta de nuevo perjudicial para la conversión de la hulla residual.

25 **[0018]** Las instalaciones comerciales generalmente requieren lechos fluidizados densos profundos o altos para acomodar al gran número de tubos de transferencia de calor. El funcionamiento de estas instalaciones en régimen de fluidización por borboteo es bastante limitativo desde los puntos de vista de la transferencia de calor y de masa y del contacto entre el gas y los sólidos debido a las relativamente grandes burbujas, a la incrementada coalescencia de las burbujas y a la propensión a la entrada en derivación del vapor/gas. A la inversa, el funcionamiento en régimen de fluidización turbulenta proporciona un buen contacto entre el gas y los sólidos y unas excelentes características de transferencia de calor y de masa. Sin embargo, esto requiere una más alta velocidad de fluidización superficial en comparación con el régimen de borboteo. Un enfoque factible es el de seleccionar una distinta configuración de intercambiadores de calor y un menor tamaño medio de partículas del material del lecho.

35 **[0019]** En resumen, las configuraciones del estado de la técnica que se han descrito anteriormente proporcionan modularidad y son beneficiosas para ciertas clases de capacidad dimensional o de admisión del material a procesar. Sin embargo, este enfoque deviene difícilmente aplicable para las instalaciones realizadas a gran escala o con grandes capacidades de procesamiento de los materiales a procesar debido al gran número de calentadores pulsatorios que se requiere, a la complejidad de las interconexiones, de los sistemas de tuberías, de las canalizaciones, etc. y al coste. Todos estos constreñimientos aumentan a escala.

40 **Breve exposición de la invención**

45 **[0020]** En un aspecto, la presente invención está dirigida a un reformador de lecho fluidizado configurado para convertir un material carbonoso en un gas producto. El reformador de lecho fluidizado incluye a un recipiente de reacción que define un compartimento configurado para recibir material carbonoso fluidizable, teniendo el recipiente de reacción al menos una primera parte parietal y una segunda parte parietal. Un primer módulo de transferencia de calor está conectado al recipiente de reacción, comprendiendo el primer módulo de transferencia de calor a un primer combustor pulsatorio conectado a una primera cámara acústica, en donde el primer combustor pulsatorio comprende al menos a un primer tubo de exhaustación que desemboca en la primera cámara acústica. Los de una primera pluralidad de tubos de transferencia de calor sobresalen al interior de dicho compartimento, estando cada uno de los de dicha primera pluralidad de tubos de transferencia de calor en comunicación fluidica con la cámara acústica a través de dicha primera parte parietal. Cada uno de los de la primera pluralidad de tubos de transferencia de calor está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos desde el primer tubo de exhaustación que es al menos uno circulan a lo largo de un primer conducto de cada tubo de transferencia de calor alejándose de dicha primera parte parietal, y luego circulan a lo largo de un segundo conducto de cada uno de los susodichos tubos de transferencia de calor acercándose a la primera parte parietal.

55 **[0021]** Pueden estar conectados al recipiente de reacción los de una pluralidad de tales módulos de transferencia de calor.

60 **[0022]** En otro aspecto, la presente invención está dirigida a un reactor de lecho fluidizado configurado para procesar termoquímicamente o bioquímicamente un material reactivo. El reactor incluye a un recipiente de reacción que define un compartimento que es adecuado para recibir un material reactivo. Los de una pluralidad de módulos de transferencia de calor están conectados al recipiente de reacción, comprendiendo cada módulo de transferencia de calor a un combustor pulsatorio conectado a una cámara acústica asociada al mismo, en donde cada combustor pulsatorio comprende al

menos a un tubo de exhaustación que desemboca en la correspondiente cámara acústica. Los de una pluralidad de tubos superiores e inferiores de transferencia de calor sobresalen al interior del compartimento, estando cada uno de los de la pluralidad de tubos superiores e inferiores de transferencia de calor en comunicación fluidica con la correspondiente cámara acústica a través de una parte parietal del recipiente de reacción del reformador. Cada uno de los de la pluralidad de tubos superiores e inferiores de transferencia de calor está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos desde el tubo de exhaustación que es al menos uno circulan a lo largo de un primer conducto de cada tubo de transferencia de calor alejándose de la parte parietal del recipiente de reacción del reformador, y luego a lo largo de un segundo conducto de cada uno de los susodichos tubos de transferencia de calor acercándose a la parte parietal del reformador.

[0023] En aun otro aspecto, la presente invención está dirigida a un reformador de lecho fluidizado para convertir un material carbonoso en un gas producto. El reformador de lecho fluidizado comprende a un recipiente de reacción que define un compartimento que es adecuado para recibir material carbonoso. Una primera agrupación de conductos calentadores ocupa al menos parcialmente el compartimento y abarca una primera extensión vertical dentro del compartimento. Cada conducto calentador de la primera agrupación está configurado para transferir calor de una fuente de calor al compartimento, teniendo los conductos calentadores de la primera agrupación un primer grosor. Una segunda agrupación de conductos calentadores ocupa al menos parcialmente el compartimento y abarca una segunda extensión vertical dentro del compartimento. Cada conducto calentador de la segunda agrupación está configurado para transferir calor de una fuente de calor al compartimento, teniendo los conductos calentadores de la segunda agrupación un segundo grosor. La segunda agrupación de conductos calentadores está posicionada verticalmente encima de la primera agrupación de conductos calentadores y distanciada de la misma por una primera distancia de separación, siendo la primera distancia de separación al menos tan grande como el menor de los grosores primero y segundo. Las de una pluralidad de entradas del material a procesar están configuradas para introducir material carbonoso en el recipiente de reacción en una zona que está situada verticalmente entre las agrupaciones primera y segunda de conductos calentadores.

[0024] En otro aspecto, la presente invención está dirigida a un método para convertir un material carbonoso en un gas producto. El método comienza previendo un recipiente de reacción que tiene la primera agrupación y la segunda agrupación de conductos calentadores como acaba de describirse anteriormente, y comprende los pasos de introducir un medio de fluidización en el compartimento, introducir material carbonoso en el compartimento en una zona que está situada verticalmente entre la primera agrupación y la segunda agrupación de conductos calentadores, y luego controlar la reacción en el recipiente de reacción de forma tal que al menos una parte del material carbonoso sea convertida en un gas producto en un lecho fluidizado.

[0025] En aun otro aspecto, la presente invención está dirigido a un reactor de lecho fluidizado configurado para procesar termoquímicamente o bioquímicamente un material reactivo. El reactor comprende a un recipiente de reacción que define un compartimento que es adecuado para recibir un material reactivo. Una primera agrupación de conductos calentadores ocupa al menos parcialmente el compartimento y abarca una primera extensión vertical dentro del compartimento. Cada conducto calentador de la primera agrupación está configurado para transferir calor de una fuente de calor al compartimento, teniendo los conductos calentadores de la primera agrupación un primer grosor. Una segunda agrupación de conductos calentadores ocupa al menos parcialmente el compartimento y abarca una segunda extensión vertical dentro del compartimento. Cada conducto calentador de la segunda agrupación está configurado para transferir calor de una fuente de calor al compartimento, teniendo los conductos calentadores de la segunda agrupación un segundo grosor, estando la segunda agrupación de conductos calentadores posicionada verticalmente encima de la primera agrupación de conductos calentadores y distanciada de la misma por una primera distancia de separación, siendo la primera distancia de separación al menos tan grande como el menor de los grosores primero y segundo. Las de una pluralidad de entradas de material a procesar están configuradas para introducir un material reactivo en el recipiente de reacción en una zona que está situada verticalmente entre la primera agrupación y la segunda agrupación de conductos calentadores.

[0026] En aun otro aspecto, la presente invención está dirigida a un método para procesar termoquímicamente o bioquímicamente un material reactivo para formar un producto. El método comienza previendo un reactor de lecho fluidizado que incluye a un recipiente de reacción que define un compartimento adecuado para recibir un material reactivo, una primera agrupación de conductos calentadores y una segunda agrupación de conductos calentadores, como se ha descrito anteriormente. El método continúa con los pasos de introducir un medio de fluidización en el compartimento, introducir material reactivo en el compartimento en una zona que está situada verticalmente entre la primera agrupación y la segunda agrupación de conductos calentadores, y luego controlar la reacción en el recipiente de reacción de forma tal que al menos una parte del material reactivo sea convertida en uno o varios productos en un lecho fluidizado.

Breve descripción de los dibujos

[0027] Para una mejor comprensión de la presente invención y para mostrar cómo la misma puede ser realizada en la práctica, se hará ahora referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:

Las Figs. 1A y 1B muestran respectivamente vistas lateral y en planta desde lo alto de un reformador cilíndrico del estado de la técnica.

Las Figs. 2A y 2B muestran respectivamente vistas lateral y en planta desde lo alto de un reformador rectangular del estado de la técnica.

5 Las Figs. 3A, 3B y 3C muestran respectivamente vistas lateral, lateral en corte y en planta superior en corte de un dispositivo según la presente invención.

La Fig. 4A muestra una vista parcial en sección de una primera realización de la pared del recipiente reformador de las Figs. 3A, 3B y 3C.

La Fig. 4B muestra una vista de la Fig. 4A en sección practicada por el plano de sección 4B-4B.

10 La Fig. 4C muestra una vista de la Fig. 4A en sección practicada por el plano de sección 4C-4C.

La Fig. 4D muestra una vista de la Fig. 4C en sección practicada por el plano de sección 4D-4D.

La Fig. 5A muestra una vista parcial en sección de una segunda realización de la pared del recipiente reformador de las Figs. 3A, 3B y 3C.

La Fig. 5B muestra una vista de la Fig. 5A en sección practicada por el plano de sección 5B-5B.

15 La Fig. 5C muestra una vista de la Fig. 5A en sección practicada por el plano de sección 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 planta superior del reactor de la Fig. 6A en sección practicada por el plano de sección 6B-6B.

20 Descripción detallada de realizaciones preferidas

[0028] Los contenidos de las Patentes U.S. Núms. 5.059.404, 5.306.481, 5.353.721, 5.536.488, 5.637.192 y 6.149.765 quedan incorporados a la presente por referencia en la medida necesaria para comprender la presente invención.

25 **[0029]** Las Figs. 6A y 6B muestran vistas de un reformador de lecho fluidizado 600 que tiene agrupaciones verticalmente distanciadas de conductos calentadores, siendo inyectado material a procesar entre las agrupaciones distanciadas. El reformador de lecho fluidizado 600 comprende a un compartimento 601 que sirve de recipiente de reacción 602. Como mejor se aprecia en la Fig. 6B, el recipiente de reacción 602 tiene un perfil en planta rectangular (es decir, una forma rectangular en una sección transversal horizontal) que comprende dos lados mayores 604A, 604B y dos lados menores 606A, 606B. Los de una pluralidad de calentadores pulsatorios 608A, 608B atraviesan los lados mayores 604A, 604B del recipiente reformador 600. En una realización, los calentadores pulsatorios 608A, 608B son de una clase que es perfectamente conocida para los expertos en la materia, tal como la de los que se dan a conocer en la Patente U.S. N° 5.059.404 anteriormente mencionada. Los tubos de resonancia 609 asociados a estos calentadores pulsatorios 608A, 608B sirven de conductos calentadores para calentar indirectamente el contenido del compartimento 601.

35 **[0030]** Los calentadores pulsativos 608A, 608B están organizados en dos agrupaciones verticalmente distanciadas que son una primera agrupación o agrupación inferior 610 y una segunda agrupación o agrupación superior 620. En la realización que se muestra, cada agrupación 610, 620 comprende a una o varias hileras de calentadores pulsatorios. Se entiende, sin embargo, que no es necesario que los calentadores pulsatorios que están dentro de una agrupación estén dispuestos en hileras, para que los mismos estén de acuerdo con la presente invención.

40 **[0031]** Como se ve en la realización de la Fig. 6A, los calentadores pulsatorios 608A que pertenecen a la agrupación inferior 610 están dispuestos en una única hilera horizontal 612. Puesto que es la única hilera, la hilera 612 sirve tanto de hilera 612 que es la más superior como de hilera 612 que es la más inferior de la agrupación inferior 610. La extensión vertical V1 de la agrupación inferior 610 tiene por consiguiente la misma medida como la altura R1 de la hilera. En este caso, la altura R1 de la hilera corresponde al grosor T1 de un calentador pulsatorio 608A que pertenece a esta hilera 612 (o más precisamente, al grosor T1 de un conducto calentador 609 asociado al calentador pulsatorio 608A). Por consiguiente, en el caso de un conducto calentador cilíndrico que está dispuesto horizontalmente, R1 es simplemente el diámetro del conducto calentador. Mientras que en esta hilera 612 se muestran tres calentadores pulsatorios, se entiende que una hilera puede en lugar de ello tener un distinto número de calentadores pulsatorios.

45 **[0032]** Los calentadores pulsatorios 608B que pertenecen a la agrupación superior 620 están dispuestos en un par de hileras horizontales 614A, 614B. En la realización que se muestra, los distintos calentadores de las hileras 614A, 614B de la agrupación superior 620 están dispuestos al tresbolillo relativamente entre sí y están distanciados verticalmente entre sí por un espaciamiento V4 entre hileras. La agrupación superior 620 tiene una extensión vertical V2 que es mayor que la extensión vertical V1 de la agrupación inferior 610, debido a la presencia de dos hileras 614A, 614B en la agrupación superior 620, en lugar de la única hilera 612 de la agrupación inferior 610. La hilera más inferior 614A de la segunda agrupación 602 tiene una altura de hilera R2 que en la realización ilustrada corresponde al grosor T2 del conducto calentador asociado a los correspondientes calentadores pulsatorios 608B. Cuando en ambas agrupaciones 610, 620 se usan los mismos tipos de conductos calentadores/calentadores pulsatorios, la altura de hilera R2 de la hilera más inferior 614A de la agrupación superior 620 es la misma como la altura de hilera R1 de la hilera más superior 612 de la agrupación inferior 610.

[0033] Como se ve en la Fig. 6A, las agrupaciones primera y segunda 610, 620 están distanciadas por un espaciamiento vertical S1 entre agrupaciones.

[0034] En una realización, las agrupaciones 610, 620 están lo suficientemente distanciadas como para que el espaciamiento vertical S1 sea al menos tan grande como el menor de los grosores T1 y T2 de los conductos calentadores. Cuando los conductos calentadores de una determinada agrupación tienen distintos grosores, entonces se usa el grosor medio de los conductos calentadores para esa agrupación como “grosor de los conductos calentadores” a efectos de determinar el mínimo espaciamiento vertical S1.

[0035] En otras realizaciones, el espaciamiento vertical S1 es al menos tan grande como la menor de las dos extensiones verticales V1, V2 (es decir, $S1 \geq (V1, V2) \text{ mín.}$).

[0036] En aun otras realizaciones, el espaciamiento vertical S1 es al menos el doble de grande que la menor de las dos extensiones verticales V1, V2 (es decir, $S1 \geq 2 * (V1, V2) \text{ mín.}$).

[0037] En la anterior descripción de las agrupaciones 610, 620, los calentadores pulsatorios 608A, 608B de cada agrupación estaban dispuestos en hileras horizontales, y así las alturas de hilera R1, R2 eran iguales a los grosores T1, T2 de los conductos calentadores. Se entiende, sin embargo, que en otras realizaciones los calentadores pulsatorios pueden no estar dispuestos en hileras horizontales, sino que en lugar de ello pueden estar inclinados o dispuestos a un ángulo desde una pared 604A hasta la pared opuesta 604B. En tal caso, las alturas de las hileras no serían iguales a los grosores de los conductos calentadores. Se entiende que en aun otras realizaciones los calentadores pulsatorios pueden incluso no estar en absoluto dispuestos en hileras. En todos estos casos, sin embargo, el espaciamiento vertical S1 seguiría siendo al menos tan grande como el menor de los grosores T1 y T2 de los conductos calentadores.

[0038] Asimismo, mientras que en la realización que se ilustra las agrupaciones primera y segunda 610, 620 tienen respectivamente un número desigual de hileras, se entiende que en algunas realizaciones las dos agrupaciones pueden tener un número igual de hileras, y este número igual puede ser de 1, 2, 3 o incluso más. Se entiende además que mientras que en la realización de las Figs. 6A-6B las hileras 614A, 614B de la segunda agrupación 620 tienen números desiguales de calentadores pulsatorios 608B, las hileras adyacentes dentro de una agrupación pueden en lugar de ello tener números iguales de calentadores pulsatorios 608B. Así por ejemplo, las hileras 614A, 614B de la segunda agrupación 620 pueden tener cada una tres calentadores pulsatorios 608B, estando los calentadores de las distintas hileras aún dispuestos al tresbolillo relativamente entre sí.

[0039] El número total de hileras y el número total de calentadores pulsatorios 608A, 608B de cada hilera pueden modificarse en cualquier diseño determinado para adecuarlos al tamaño, al tipo de material a procesar y a la capacidad de procesamiento del material a procesar del reformador a vapor 600.

[0040] En el fondo del recipiente reformador 602 hay un distribuidor 622 en el cual se introduce un medio de fluidización 635 tal como vapor. Justo encima del distribuidor 622 y debajo de la primera agrupación 610 hay una zona 640 de acrecentada conversión de hulla residual. La zona 640 permite lograr una buena transferencia de calor y de masa y una alta concentración de reactivo (vapor) y facilita la acrecentada conversión de la hulla residual. La extensión vertical de esta zona 640 dependerá de la reactividad de la hulla residual y de las condiciones de funcionamiento del reformador, en el que cuanto más lenta(s) sea(n) la(s) reacción (reacciones), tanto mayor será la extensión vertical.

[0041] Entre la primera agrupación 610 y la segunda agrupación 620 hay una zona de secado y desvolatilización 642 que tiene una altura S1, como se ha expuesto anteriormente. Esta zona conduce a la obtención de una buena circulación de sólidos, de un buen transporte de calor y de un buen contacto entre el gas y los sólidos, y sirve para maximizar el secado y la desvolatilización y minimizar la formación de alquitrán y hulla residual. En una realización, entradas de material a procesar, indicadas en general con el número de referencia 637, desembocan en una zona que está situada verticalmente entre las dos agrupaciones 610, 620. Así, en esta realización el material a procesar es inyectado al interior de la zona 642, que está separada de la zona 640 de reacción primaria de hulla residual y está situada en una posición que se encuentra verticalmente encima de la primera agrupación de calentadores pulsatorios y verticalmente debajo de la segunda agrupación 620 de calentadores pulsatorios. Se entiende que las entradas 637 de material a procesar están aproximadamente a la misma altura y distanciadas a lo largo de los lados menores 606A, 606B del recipiente reformador 602.

[0042] Finalmente, en la zona que está justo encima de la segunda agrupación 620 hay una zona de lecho denso 644 que se extiende hasta la línea superior 646 del lecho. Una zona de francobordo 648 ocupa la parte más superior del recipiente reformador 602. El gas producto 649 sale de la zona de francobordo 648 a través de ciclones y de otros equipos (no ilustrados) que son conocidos para los expertos en la materia.

[0043] Se entiende que los calentadores pulsatorios 608A, 608B del reformador de lecho fluidizado 600 están bajo control informático (no ilustrado) para así variar la tasa de encendido y la tasa de transferencia de calor en el reformador de lecho fluidizado 600 y también para así acrecentar la capacidad de producción del reformador.

5 [0044] Puede verse por lo expuesto anteriormente que en muchos aspectos el reformador de lecho fluidizado 600 de las Figs. 6A y 6B es similar al reformador de lecho fluidizado 600 del estado de la técnica que se ve en la Fig. 2. Una diferencia principal, sin embargo, es la de que los calentadores pulsatorios 608A, 608B en el reformador de lecho fluidizado 600 están dispuestos en agrupaciones distanciadas 610, 620, mientras que los calentadores pulsatorios en el reformador de lecho fluidizado 200 del estado de la técnica pertenecen todos ellos a una única agrupación. Una segunda diferencia es la de que en algunas realizaciones el material a procesar es introducido en el compartimento 602 en una zona que está encima de los calentadores pulsatorios más inferiores, y en una realización es introducido en una zona que está entre las dos agrupaciones 610, 620.

10 [0045] El funcionamiento del reformador de lecho fluidizado para crear un gas producto a partir de un material carbonoso comienza con un aparato de la clase que se ha descrito anteriormente. A continuación de esto se procede a introducir un medio de fluidización en el compartimento, introducir un material carbonoso en el compartimento en una zona que está situada verticalmente entre las agrupaciones primera y segunda, y controlar luego la reacción que se produce en el recipiente de reacción de forma tal que al menos una parte del material carbonoso sea convertida en un gas producto en un lecho fluidizado.

15 [0046] Los expertos en la materia están familiarizados con los distintos aspectos del control de la reacción, tales como los flujos de reactivo, el control de las temperaturas y presiones, y aspectos similares. En aquellas situaciones en las que se usan calentadores pulsatorios, tal control incluye el control del funcionamiento de los calentadores pulsatorios, incluyendo el ajuste de su tasa de encendido, de la mezcla de aire y combustible y de otros parámetros. El reformador puede estar configurado para funcionar en un régimen de fluidización turbulenta, y el medio de fluidización puede constar de uno de los miembros del grupo que consta de vapor, aire, aire enriquecido, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, gas producto de reciclaje y mezclas de los mismos.

20 [0047] Mientras que la anterior descripción del reformador 600 contempla un reformador de lecho fluidizado que tiene un perfil en planta rectangular, es posible implementar la presente invención en reformadores que tengan asimismo otras formas. Así por ejemplo, un reformador con un perfil en planta cuadrado o con un perfil en planta circular puede hacer provechosamente uso de la presente invención, siempre que quede suficiente espaciado vertical entre los calentadores pulsatorios y las entradas para introducir el material a procesar en el interior de esta zona entre agrupaciones de calentadores pulsatorios.

25 [0048] Por añadidura, la anterior descripción fue redactada en términos de usar calentadores pulsatorios como fuente del calor indirecto que es aportado por los conductos calentadores. Se entiende, sin embargo, que el reactor anteriormente descrito puede emplear fuentes que no sean calentadores pulsatorios para producir el calor que es aportado indirectamente por medio de los conductos calentadores 609. Los ejemplos de tales otras fuentes incluyen a los miembros del grupo que consta de calentadores eléctricos dentro de los conductos calentadores, tubos de humos y fuentes similares.

30 [0049] La Fig. 3A muestra una vista lateral de un reactor 300 según otro aspecto de la presente invención. En la descripción que se da a continuación se supone que el reactor es un reformador 300. El reformador 300 comprende a un recipiente reformador 302 y a una pareja de módulos de transferencia de calor 310, 350, uno a cada lado del recipiente reformador 302. El recipiente reformador 302 define un compartimento 303 configurado para recibir un material carbonoso fluidizable. Como se ve en la Fig. 3A, dos módulos de transferencia de calor están desplazados verticalmente uno con respecto al otro. En la realización ilustrada, el segundo módulo de transferencia de calor 350 está en una posición un poco más alta que el primer módulo de transferencia de calor 310.

35 [0050] El primer módulo de transferencia de calor 310 incluye a una primera cámara acústica 311 y un primer combustor pulsatorio 312. El primer combustor pulsatorio 312 incluye a una cámara de combustión pulsatoria 313 conectada a un tubo de exhaustación 314. Como se ve en la realización de la Fig. 3A, la cámara de combustión pulsatoria 313 está posicionada encima de la primera cámara acústica 311. Al mismo tiempo, el tubo de exhaustación 314 está prácticamente por entero dentro de la primera cámara acústica 311 y discurre verticalmente en dirección descendente en la misma. Como también se ve en esta realización, la salida 316 del tubo de exhaustación 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 resuene tras la activación del primer combustor pulsatorio 312 y redunde en una onda estacionaria en la cámara acústica.

40 [0051] Está colocada encima de la cámara de combustión pulsatoria 313 una cámara de sobrepresión de aire 318 que rodea a una válvula 320. La válvula puede constar de una sola válvula, o bien puede constar de una válvula múltiple 320. La válvula 320 proporciona un acceso a la entrada de la cámara de combustión pulsatoria 313, y así permite que entren en ésta últimos combustibles 322 tales como combustible y/o gas producto, y aire 324. El aire 324 puede entrar en la cámara de sobrepresión de aire 318 y mezclarse con los combustibles 322 en las inmediaciones de la salida de la válvula 320 antes de ser inyectado al interior de la cámara de combustión pulsatoria 313.

5 **[0052]** Los productos de combustión que salen por el extremo 316 del tubo de exhaustación 314 pasando al interior de la primera cámara acústica 311 pasan a través de aberturas formadas en una primera pared 332 del recipiente reformador 302 y entran en los de una pluralidad de tubos de transferencia de calor 326 conectados a la primera pared 332. Los tubos de transferencia de calor 326 pertenecen ya sea a un primer haz superior 328U de tubos de transferencia de calor o bien a un primer haz inferior 328L de tubos de transferencia de calor. Los primeros haces superior e inferior 328U, 328L de tubos de transferencia de calor sobresalen al interior del recipiente reformador 302, donde es impartido calor al fluido que se encuentra ahí.

10 **[0053]** Cada haz 328U, 328L, 368U, 368L comprende una pluralidad de tubos de transferencia de calor. Como se ve en la Fig. 3B, cada haz 328U, 328L puede comprender una pluralidad de hileras 330 de tubos 326. Los distintos tubos de las hileras 330 que pertenecen a un único haz están preferiblemente dispuestos al trespelillo, como se muestra en la Fig. 3B, si bien pueden simplemente estar alineados verticalmente entre sí. Cada hilera 330 puede comprender una pluralidad de tubos 326, estando el número exacto limitado por el diámetro de los tubos, el espaciamiento entre tubos y la longitud L de la pared 332 del recipiente a la cual los tubos 326 están conectados.

15 **[0054]** El número total de hileras y el número total de tubos de transferencia de calor 326 pueden modificarse en cualquier diseño determinado para adecuarlos al tamaño, al tipo de material a procesar y a la capacidad de procesamiento de material a procesar del reformador de vapor. Una vez conocidos estos parámetros, el primer combustor pulsatorio 312 y la primera cámara acústica 311 pueden diseñarse para adecuarlos al régimen de transferencia de calor. Puesto que el número de hileras y el número de columnas pueden variarse, un reformador tal como el reformador 300 puede agrandarse para pasar de tener un pequeño tamaño a tener un gran tamaño. Independientemente de las dimensiones exteriores, los tubos de transferencia de calor 326 pueden disponerse dentro del recipiente reformador 302 en una configuración adecuada para ayudar a promover el contacto entre el gas y los sólidos y para mitigar la canalización y la entrada en derivación del gas/vapor.

20 **[0055]** En el reformador 300, el primer combustor pulsatorio 312 queda así físicamente separado de los tubos de transferencia de calor 326, pero acoplado funcionalmente por medio de la primera cámara acústica 311. La primera cámara acústica 311 encierra completamente al tubo de exhaustación 314, estando la salida 316 del tubo de exhaustación situada del centro geométrico de la cámara acústica. Con el primer combustor pulsatorio 312 diseñado como un resonador de Helmholtz y de cuarto de onda, la salida 316 del tubo de exhaustación corresponde a un antinodo de velocidad, o nodo de presión. La primera cámara acústica 311 está configurada para servir de generador de onda estacionaria con antinodos de presión o nodos de velocidad en sus extremos 311A, 311B.

30 **[0056]** Los dos haces 328U, 328L de tubos de transferencia de calor 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 la eficiente transferencia de la acústica del primer combustor pulsatorio 312 a los tubos de transferencia de calor 326 de los primeros haces superior e inferior 328U, 328L. Esto también permite la periódica limpieza de la capa límite y el incremento del coeficiente de transferencia de calor.

35 **[0057]** Como se ve en la Fig. 3A, los haces superiores 328U, 368U constituyen una agrupación 329U de haces superiores, mientras que los haces inferiores 328L, 368L constituyen una agrupación 329L de haces inferiores. El miembro más inferior de la agrupación 329U de haces superiores está distanciado del miembro más superior de la agrupación 329L de haces inferiores por un espaciamiento vertical D1 entre agrupaciones. El espaciamiento vertical D1 entre agrupaciones es considerablemente mayor que el espaciamiento vertical D2 entre hileras, que es el espaciamiento entre las hileras dentro de los haces. En una realización, la relación del espaciamiento vertical D1 entre agrupaciones al espaciamiento vertical D2 en hileras, $D1/D2$, es de más de 2 o igual a 2. En algunas realizaciones, el espaciamiento vertical D1 entre agrupaciones es también mayor que la máxima altura de agrupación D3 de la agrupación 329U de haces superiores o de la agrupación 329L de haces inferiores, entendiéndose que no es necesario que las agrupaciones tengan la misma altura o el mismo número de hileras. En una realización, la relación del espaciamiento vertical D1 entre agrupaciones a la máxima altura de agrupación D3, $D1/D3$, es de más de 2 o igual a 2. Las agrupaciones inferior y superior 329L y 329U están todas ellas sumergidas dentro del lecho denso 342.

40 **[0058]** El segundo módulo de transferencia de calor 350 incluye a una segunda cámara acústica 351 y un segundo combustor pulsatorio 352. La forma constructiva del segundo combustor pulsatorio 352 es similar a la del primer combustor pulsatorio 312. El segundo combustor pulsatorio 352 comprende así a una cámara de combustión pulsatoria 353 conectada a un tubo de exhaustación 354. Están también previstas una cámara de sobrepresión de aire 358 y una válvula 360 asociadas al segundo combustor pulsatorio 352 para la introducción de combustibles 362 y aire 364.

55 **[0059]** Los productos de combustión que salen del tubo de exhaustación 354 pasando al interior de la segunda cámara acústica 351 pasan a través de aberturas formadas en una segunda pared 334 del recipiente reformador 302 y entran en los de una pluralidad de tubos de transferencia de calor 366 conectados a la segunda pared 334. Los tubos de transferencia de calor 366, que preferiblemente tienen la misma forma constructiva como los tubos de transferencia de

calor 326, pertenecen ya sea a un segundo haz superior 368U de tubos de transferencia de calor o bien a un segundo haz inferior 368L de tubos de transferencia de calor.

5 **[0060]** El compartimento 303 del recipiente reformador 302 incluye una serie de zonas que están distanciadas verticalmente y desempeñan distintos papeles funcionales y en las cuales tienen lugar varias actividades.

10 **[0061]** En el fondo del recipiente reformador 302 hay un distribuidor 336 en el cual es introducido un medio de fluidización 335, tal como vapor. El tubo de transferencia de calor 326 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, el espaciamiento H4 (véase la Fig. 3B) entre el distribuidor 336 y el tubo de transferencia de calor más inferior 326 es de entre 0,5 y 1,5 metros. Sin embargo son asimismo posibles otros espaciamientos.

15 **[0062]** A la zona que está situada encima del distribuidor 336 y debajo de la parte superior de los haces inferiores 328L, 368L se la denomina zona 340 de acrecentada conversión de hulla residual. La zona 340 proporciona una buena transferencia de calor y de masa y una alta concentración de reactivo (vapor) y facilita la acrecentada conversión de hulla residual. La extensión vertical de esta zona dependerá de la reactividad de la hulla residual y de las condiciones de funcionamiento del reformador, y cuanto más lenta(s) sea(n) la(s) reacción (reacciones), tanto mayor será la extensión vertical.

20 **[0063]** Entre los haces inferiores 328L, 368L y los haces superiores 328U, 368U hay una zona de secado y desvolatilización 342 que tiene una altura D1, como se ha expuesto anteriormente. Esta zona conduce a una buena circulación de sólidos y a un buen transporte de calor y contacto entre el gas y los sólidos, sirve para maximizar el secado y la desvolatilización, y minimiza la formación de alquitrán y hulla residual. En una realización, una entrada material a procesar, indicada en general en forma de la flecha 337, desemboca en una zona situada verticalmente entre 25 los haces inferiores 328L, 368L de tubos de transferencia de calor y los haces superiores 328U, 368U de tubos de transferencia de calor. Así, en esta realización el material a procesar es inyectado al interior de la zona 342, que está separada de la zona 340 de reacción primaria de la hulla residual, en una posición situada verticalmente encima de los haces inferiores 328L, 368L de tubos de transferencia de calor y debajo de los haces superiores 328U, 368U de tubos de transferencia de calor. A pesar de que se muestra tan sólo una única entrada 337 de material a procesar, se entiende 30 que con esta entrada 337 de material a procesar se pretende representar una pluralidad de tales entradas. Las de esta pluralidad de entradas están todas aproximadamente a la misma altura y están distanciadas a lo largo de los lados al descubierto del recipiente 302 que no están en contacto con las cámaras acústicas 311, 351, como mejor se aprecia en las Figs. 3B y 3C.

35 **[0064]** Finalmente, en la zona que está justo encima de los haces superiores 328U, 368U hay una zona de lecho denso 344 que se extiende hasta la línea superior 346 del lecho denso. Una zona de francobordo 348 ocupa la parte más superior del recipiente reformador 302. El gas producto 349 sale de la zona de francobordo 348 a través de ciclones y otros equipos (no ilustrados) que son conocidos para los expertos en la materia.

40 **[0065]** En la realización ilustrada, el reformador 300 tiene dos módulos de transferencia de calor 310, 350 que tienen cada uno una cámara acústica 311, 351 y un combustor pulsatorio 312, 352 asociado al módulo. Durante el funcionamiento, los dos módulos de transferencia de calor 310, 350 están bajo control informático para variar la tasa de encendido y la tasa de transferencia de calor para mejor adaptarse a la carga presente en el reformador 300 y 45 acrecentar la capacidad de producción del reformador.

50 **[0066]** En los combustores pulsatorios 312 y 352 la estequiometría de combustión puede ser ajustada independientemente sobre la base de la tasa de combustión de combustible para asegurar una combustión completa en los tubos de exhaustación 314, 354 o las cámaras acústicas 311, 351. Además puede aportarse a las cámaras acústicas 311, 351 gas combustible de reciclaje y/o aire de atemperación para regular la temperatura de los gases que entran en los tubos de transferencia de calor 326, 366 y/o minimizar las emisiones de contaminantes. Además, la geometría de los combustores pulsatorios 312, 352 con sus correspondientes cámaras 313, 353, tubos de exhaustación 314, 354 y válvulas 320, 360 puede diseñarse para maximizar el rendimiento de combustión y acústico, mientras que el haz de tubos de transferencia de calor (diámetro y longitud de los tubos protectores, diámetro exterior y longitud de los tubos y espaciamiento de tubo a tubo o intersticio en el haz) puede diseñarse para lograr un óptimo rendimiento de 55 transferencia de calor y una óptima capacidad de funcionamiento del lecho fluidizado. De esta manera, los combustores pulsatorios pueden ser manejados para que aporten una controlada cantidad de calor a los tubos de transferencia de calor para procesar el material reactivo introducido en el recipiente reformador 302. Los expertos en técnica del funcionamiento de los lechos fluidizados están familiarizados con el control del reformador 300, de los combustores pulsatorios 312, 352, del material a procesar y del medio de fluidización. En consecuencia, mediante tal control y en 60 dependencia del material que se procese, puede hacerse selectivamente que el reformador 300 funcione ya sea en régimen de lecho borboteante o bien en régimen de fluidización turbulenta.

[0067] La Fig. 4A muestra una vista en corte de una primera realización de un primer tramo de pared 400 que pertenece a una pared 332 que se encuentra entre la primera cámara acústica 311 y el recipiente reformador 302. El primer tramo

de pared 400 comprende una chapa para tubería 406 que puede ella misma comprender un material de tipo refractario 402 encarado a la primera cámara acústica 311. En esta realización, el tramo de pared 400 comprende a un par de chapas para tubería 406, 408 que juntamente forman una pared membrana anular 404 interrumpida por tubos de transferencia de calor que sobresalen hacia el interior.

5

[0068] Cada tubo de transferencia de calor 326, 328 tiene un diseño anular y comprende a un tubo protector interior 410 y un tubo exterior 412 ligeramente más largo (“tubo de transferencia de calor al lecho fluidizado”), definiendo dichos tubos una corona cilíndrica entre los mismos. La chapa 406 para la tubería interior (que en realidad es la chapa para tubería más exterior con respecto al recipiente reformador 302) soporta los tubos protectores interiores 410 que pertenecen a un haz. Al mismo tiempo, la chapa 408 para la tubería exterior (que en realidad es la chapa para tubería más interior con respecto al recipiente reformador 302) soporta los tubos exteriores 412 que pertenecen a un haz. En una realización, la chapa 408 para la tubería exterior está soldada a la pared 332 del recipiente en sitios predeterminados, o bien está empernada a la misma por medio de una unión embridada. Análogamente, la chapa 406 para la tubería interior está también embridada y empernada a una parte desacopladora adyacente a la pared 332 del recipiente.

10

15

[0069] Los productos de combustión tales como el gas de combustión emitido por un tubo de exhaustación fluyen pasando de la cámara acústica al interior del tubo protector interior 410, como está representado mediante las flechas 413. El gas de combustión primeramente circula alejándose de la pared 332, a lo largo de un primer conducto 409 que está constituido por el centro hueco del tubo protector interior 410 y hacia la pared extrema 411 del tubo de transferencia de calor. El gas de combustión da entonces la vuelta y circula hacia la pared 332 por un segundo conducto 415 que está definido por una corona cilíndrica formada entre los tubos protectores interior y exterior 410, 412, como se indica con la flecha 414. El segundo conducto 415 está en comunicación fluidica con un colector 416 formado entre las dos chapas para tubería 406, 408. Por consiguiente, desde el segundo conducto 415 el gas de combustión entra en el colector 416, desde donde es dirigido hacia un conducto del gas de combustión 417, como indica la flecha 418.

20

25

[0070] Al circular por el tubo protector interior 410, los gases de combustión que se encuentran en el mismo calientan los gases que van en la dirección opuesta por dentro de la zona anular que está formada entre los tubos protectores interior y exterior 410, 412, respectivamente. Los gases de combustión que se encuentran en la corona cilíndrica tienden a enfriarse al circular desde la entrada de la corona cilíndrica debido a la transferencia de calor al lecho fluidizado, pero son algo recalentados en virtud de la transferencia de calor de los gases de combustión que circulan por el interior del tubo protector interior 410.

30

[0071] Esta disposición puede eliminar la necesidad de juntas de dilatación térmica dentro del recipiente reformador y los correspondientes costes de inversión, de explotación y de mantenimiento. Además, el diseño según el cual queda formada una corona cilíndrica entre los tubos de protección promueve la obtención de una casi uniforme temperatura del gas en la superficie exterior del tubo exterior 412, reduciendo así el potencial de aparición de puntos calientes locales en el tubo exterior 412. Dicho diseño también ayuda a acrecentar la transferencia de calor al lecho fluidizado dentro del recipiente reformador. En una realización, la sección transversal y la longitud de los tubos 410 y 412 se seleccionan de forma tal que el haz de tubos de transferencia de calor y la correspondiente parte de la cámara acústica funcionan como un resonador de Helmholtz y/o de cuarto de onda.

35

40

[0072] Como se ve en las Figs. 4B, 4C y 4D, las chapas para tubería 406, 408 pueden ser refrigeradas por agua empleando la forma constructiva de una pared membrana. La chapa exterior 406 para tubería soporta un cabezal de tubos de entrada 420A que está distanciado verticalmente de un cabezal de tubos de salida 422A. Agua 424A es bombeada al interior del cabezal de tubos de entrada 420A, circula hacia arriba por los de una pluralidad de tubos de refrigeración 404 y entra en el cabezal de tubos de salida 422A. Entonces sale de este cabezal de tubos de salida 422A una mezcla de agua y vapor 426A. Análogamente, la chapa interior 408 para tubería soporta un cabezal de tubos de entrada 420B que está distanciado verticalmente de un cabezal de tubos de salida 422B. Agua 424B es bombeada al interior del cabezal de tubos de entrada 420B, circula hacia arriba por los de una pluralidad de tubos de refrigeración 428 y entra en el cabezal de tubos de salida 422B. Entonces sale de este cabezal de tubos de salida 422B una mezcla de agua y vapor 426B.

45

50

[0073] Se entiende que en algunas realizaciones estarían previstos para la cámara acústica 311 al menos dos de estos tramos de pared 400, uno asociado al conjunto inferior de tubos de transferencia de calor, y el otro asociado al conjunto superior de tubos de transferencia de calor. Se entiende además que en un reformador 300 de la clase que se ve en la Fig. 3 cada cámara acústica 311, 351 tendría dos tramos de pared de este tipo asociados a la misma, dos asociados a la pared 332 y otros dos asociados a la pared 334, teniéndose así en total cuatro tramos de pared de este tipo.

55

[0074] Se entiende además que la pared 334 tiene un tramo de pared similar, y así ambos módulos de transferencia de calor 310, 350 pasan sus gases de combustión al recipiente de reacción común.

60

[0075] La Fig. 5A muestra una vista en corte de una segunda realización de un tramo de pared 500 que pertenece a una pared 332 situada entre la primera cámara acústica 311 y el recipiente reformador 302. El tramo de pared 500

comprende a una primera camisa de agua 532, que puede comprender a un material de tipo refractario 502, encarado a la cámara acústica. Cada uno de los tubos de transferencia de calor comprende a un tubo protector interior 510 y un tubo exterior 512 que es un poco más largo, quedando definida una corona cilíndrica entre dichos tubos.

5 **[0076]** En esta realización rodean a los tubos de transferencia de calor las de un par de camisas de agua 532, 534. La primera camisa de agua 532 está hecha a base de un primer par de chapas para tubería 542A, 542B, mientras que la segunda camisa de agua 534 está hecha a base de un segundo par de chapas para tubería 544A, 544B. La camisa de agua 532 de los tubos protectores interiores refrigera los tubos protectores interiores 510 del haz, mientras que la
10 camisa de agua 534 de los tubos exteriores refrigera los tubos exteriores 512 del haz. Como se ve en la realización de las Figs. 5B y 5C, las camisas de agua 532, 534 pueden tener un frente circular vistas desde el recipiente reformador. Las camisas de agua pueden en lugar de ello tener un frente rectangular si la presión de vapor es relativamente baja, o bien si su periferia puede ser reforzada adecuadamente para satisfacer las exigencias de presión del recipiente reformador.

15 **[0077]** En la realización de la Fig. 5A, los productos de combustión, tales como el gas de combustión emitido por un tubo de exhaustación, circulan desde la cámara acústica hacia el interior del tubo protector interior 510, como está representado mediante las flechas 513. El gas de combustión circula por el tubo protector interior 510 hasta su extremo, da la vuelta y circula por la corona cilíndrica exterior, como se indica mediante la flecha 514. El gas de combustión entra entonces en un colector 516 formado entre las dos camisas de agua 532, 534. Desde el colector, el gas de combustión
20 es dirigido hacia un conducto de gases de combustión 517, como indica la flecha 518, y desde ahí sale del recipiente reformador, como indica la flecha 519.

[0078] En los esquemas precedentes, los combustores pulsatorios 312, 352 están ilustrados con válvulas únicas 320, 360, respectivamente, y con tubos de exhaustación únicos 314, 354, respectivamente. Se entiende, sin embargo, que
25 los combustores pulsatorios 312, 352 pueden comprender sendas pluralidades de válvulas de este tipo y/o sendas pluralidades de tubos de exhaustación, según sea necesario.

[0079] El reformador puede configurarse para que funcione en régimen de fluidización turbulenta, y el medio de fluidización puede constar de uno de los miembros del grupo que consta de vapor, aire, aire enriquecido, oxígeno,
30 nitrógeno, dióxido de carbono, gas producto de reciclaje, y mezclas de los mismos.

[0080] Por añadidura, mientras que la anterior descripción está enmarcada en el contexto de la conversión energética y la producción de gas sintético, hay que señalar que el reactor 300 que aquí se da a conocer puede también ser
35 empleado de manera lucrativa para procesar cualquier material reactivo usando enfoques termoquímicos y/o bioquímicos. Los materiales reactivos que aquí se contemplan incluyen a los miembros del grupo que consta no tan sólo de materiales carbonosos, sino también de materiales inorgánicos, entre otros. Se entiende que los expertos en la técnica del funcionamiento de los lechos fluidizados están familiarizados con las tareas de controlar el reactor, los combustores pulsatorios, las entradas de material a procesar y el medio de fluidización para procesar termoquímica o bioquímicamente a toda una multitud de distintos materiales reactivos.

40 **[0081]** La anterior descripción de varias realizaciones de la invención pretende describir e ilustrar varios aspectos de la invención, y no pretende limitar la invención a los mismos. Los expertos en la materia entenderán que en las realizaciones descritas pueden hacerse ciertas modificaciones sin por ello salir fuera del alcance de la invención. Se pretende que todas las modificaciones de este tipo queden dentro del alcance de las reivindicaciones acompañantes.
45

REIVINDICACIONES

1. Reactor de lecho fluidizado que comprende:
 5 un recipiente de reacción que define un compartimento configurado para recibir un material fluidizable, teniendo el recipiente de reacción al menos una primera parte parietal y una segunda parte parietal;
 un primer módulo de transferencia de calor conectado al recipiente de reacción, comprendiendo el primer
 10 módulo de transferencia de calor a un primer combustor pulsatorio conectado a una primera cámara acústica que tiene un primer extremo y un segundo extremo, en donde el primer combustor pulsatorio comprende al menos a un primer tubo de exhaustación que desemboca en la primera cámara acústica entre los extremos primero y segundo; y
 una primera pluralidad de tubos de transferencia de calor que sobresalen al interior de dicho compartimento, estando cada uno de los de dicha primera pluralidad de tubos de transferencia de calor en comunicación fluidica con la cámara acústica a través de dicha primera parte parietal, en donde:
 15 cada uno de los de dicha primera pluralidad de tubos de transferencia de calor está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos por dicho primer tubo de exhaustación que es al menos uno circulan por un primer conducto de cada tubo de transferencia de calor alejándose de dicha primera parte parietal, y luego circulan por un segundo conducto de cada uno de dichos tubos de transferencia de calor en dirección a la primera parte parietal; y
 el tubo de exhaustación que es al menos uno comprende a un tubo resonador del primer combustor pulsatorio y no sobresale al interior del compartimento del recipiente de reacción.
 20
2. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 1, en donde:
 cada uno de los de dicha primera pluralidad de tubos de transferencia de calor comprende a un tubo protector interior y un tubo exterior;
 25 el tubo protector interior forma el primer conducto; y
 una corona cilíndrica formada entre el tubo protector interior y el tubo exterior forma el segundo conducto.
3. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 2, que comprende además a un colector que está en comunicación fluidica con el segundo conducto, en donde:
 30 el colector está formado entre una primera chapa para tubería asociada al tubo protector interior y una segunda chapa para tubería asociada al tubo exterior.
4. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 1, en donde:
 35 el primer tubo de exhaustación que es al menos uno desemboca aproximadamente a medio camino a lo largo de la extensión vertical de la cámara acústica, entre los extremos primero y segundo.
5. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 4, en donde, tras la activación del primer combustor pulsatorio, la primera cámara acústica resuena y es creada en la misma una onda estacionaria con antinodos de presión formados en dichos extremos primero y segundo.
 40
6. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 1, que comprende además a un sistema de refrigeración asociado a la primera pluralidad de tubos de transferencia de calor, comprendiendo dicho sistema de refrigeración a un cabezal de tubos de entrada verticalmente distanciado de un cabezal de tubos de salida, y a una pluralidad de tubos de refrigeración entre el cabezal de tubos de entrada y el cabezal de tubos de salida.
 45
7. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 1, que comprende además a un sistema de refrigeración asociado a la primera pluralidad de tubos de transferencia de calor, comprendiendo dicho sistema de refrigeración a un par de camisas distanciadadas una de otra, refrigerando una primera camisa a los tubos interiores de los de la primera pluralidad de tubos de transferencia de calor, y refrigerando una segunda camisa a los tubos exteriores de los de la primera pluralidad de tubos de transferencia de calor.
 50
8. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 1, que comprende además:
 una segunda pluralidad de tubos de transferencia de calor que sobresalen al interior de dicho compartimento, estando también cada uno de los de dicha segunda pluralidad de tubos de transferencia de calor en comunicación fluidica con la primera cámara acústica, estando la segunda pluralidad de tubos de transferencia de calor verticalmente distanciado de dicha primera pluralidad de tubos de transferencia de calor, en donde:
 55 cada uno de los de dicha segunda pluralidad de tubos de transferencia de calor está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos desde el tubo de exhaustación circulan por un primer conducto de cada tubo de transferencia de calor alejándose de dicha primera parte parietal, y luego circulan por un segundo conducto de cada uno de dichos tubos de transferencia de calor en dirección a la primera parte parietal.
 60
9. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 8, que comprende además al menos una entrada de material a procesar que está en comunicación fluidica con dicho compartimento, desembocando dicha entrada de

material a procesar que es al menos una en una zona situada verticalmente entre la primera y la segunda pluralidad de tubos de transferencia de calor.

- 5 10. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 8, que comprende además:
un segundo módulo de transferencia de calor conectado al recipiente de reacción, comprendiendo el segundo módulo de transferencia de calor a un segundo combustor pulsatorio conectado a una segunda cámara acústica, en donde el segundo combustor pulsatorio comprende a un segundo tubo de exhaustación que desemboca en la segunda cámara acústica, y
- 10 una tercera pluralidad de tubos de transferencia de calor que sobresalen al interior de dicho compartimento, estando cada uno de los de dicha tercera pluralidad de tubos de transferencia de calor en comunicación fluidica con la segunda cámara acústica a través de la segunda parte parietal, en donde:
cada uno de los de dicha tercera pluralidad de tubos de transferencia de calor está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos desde dicho segundo tubo de exhaustación circulan por un primer conducto de cada uno de los de dicha tercera pluralidad de tubos de transferencia de calor alejándose de una
- 15 segunda parte parietal, y luego circulan por un segundo conducto de cada uno de los de dicha tercera pluralidad de tubos de transferencia de calor en dirección a la segunda parte parietal.
11. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 10, que comprende además:
una cuarta pluralidad de tubos de transferencia de calor que sobresalen al interior de dicho compartimento, estando también cada uno de los de dicha cuarta pluralidad de tubos de transferencia de calor en comunicación fluidica con la segunda cámara acústica, estando la cuarta pluralidad de tubos de transferencia de calor verticalmente distanciada de dicha tercera pluralidad de tubos de transferencia de calor, en donde:
cada uno de los de dicha cuarta pluralidad de tubos de transferencia de calor está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos desde el segundo tubo de exhaustación circulan por un primer conducto
- 20 de cada uno de los de dicha cuarta pluralidad de tubos de transferencia de calor alejándose de dicha segunda parte parietal, y luego circulan por un segundo conducto de cada uno de los de dicha cuarta pluralidad de tubos de transferencia de calor en dirección a la segunda parte parietal.
12. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 11, que comprende además al menos a una entrada de material a procesar que está en comunicación fluidica con dicho compartimento, desembocando dicha entrada de material a procesar que es al menos una en una zona que está verticalmente situada entre la primera y la segunda pluralidad de tubos de transferencia de calor, y también entre la tercera y la cuarta pluralidad de tubos de transferencia de calor.
- 30 13. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 1, que comprende:
una pluralidad de módulos de transferencia de calor conectados al recipiente de reacción, comprendiendo cada módulo de transferencia de calor a un combustor pulsatorio conectado a una cámara acústica asociada al mismo, en donde cada combustor pulsatorio comprende al menos a un tubo de exhaustación que desemboca en la correspondiente cámara acústica, y
- 35 una pluralidad de tubos de transferencia de calor superiores e inferiores que sobresalen al interior de dicho compartimento, estando cada uno de los de dicha pluralidad de tubos de transferencia de calor superiores e inferiores en comunicación fluidica con la correspondiente cámara acústica a través de una parte parietal del recipiente de reacción, en donde:
cada uno de los de dicha pluralidad de tubos de transferencia de calor superiores e inferiores está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos desde dicho tubo de exhaustación que es al menos uno circulan por un primer conducto de cada tubo de transferencia de calor alejándose de la parte parietal del recipiente de reacción, y luego circulan por un segundo conducto de cada uno de dichos tubos de transferencia de calor en dirección a la parte parietal.
- 40 14. Reactor de lecho fluidizado que comprende:
un recipiente de reacción que define un compartimento que es adecuado para recibir un material reactivo;
una pluralidad de módulos de transferencia de calor conectados al recipiente de reacción, comprendiendo cada módulo de transferencia de calor a un combustor pulsatorio conectado a una cámara acústica asociada al mismo, teniendo dicha cámara acústica un primer extremo y un segundo extremo, en donde cada combustor pulsatorio comprende al menos a un tubo de exhaustación que desemboca en la correspondiente cámara acústica entre los extremos primera y segundo, y
- 45 una pluralidad de tubos de transferencia de calor superiores e inferiores que sobresalen al interior de dicho compartimento, estando cada uno de los de dicha pluralidad de tubos de transferencia de calor superiores e inferiores en comunicación fluidica con la correspondiente cámara acústica a través de una parte parietal del recipiente de reacción, en donde:
cada uno de los de dicha pluralidad de tubos de transferencia de calor superiores e inferiores está configurado de forma tal que los productos de combustión emitidos desde dicho tubo de exhaustación que es al menos uno circulan por un primer conducto de cada tubo de transferencia de calor alejándose de la parte parietal del
- 50 55 60

recipiente de reacción, y luego circulan por un segundo conducto de cada uno de dichos tubos de transferencia de calor en dirección a la parte parietal;
el tubo de exhaustación que es al menos uno comprende a un tubo resonador del primer combustor pulsatorio y no sobresale al interior del compartimento del recipiente de reacción.

5

15. Reactor de lecho fluidizado según la reivindicación 14, que comprende además al menos a una entrada de material a procesar que está en comunicación fluídica con dicho compartimento, desembocando dicha entrada de material a procesar que es al menos una en una zona verticalmente situada entre las pluralidades de tubos de transferencia de calor superiores e inferiores.

10

100

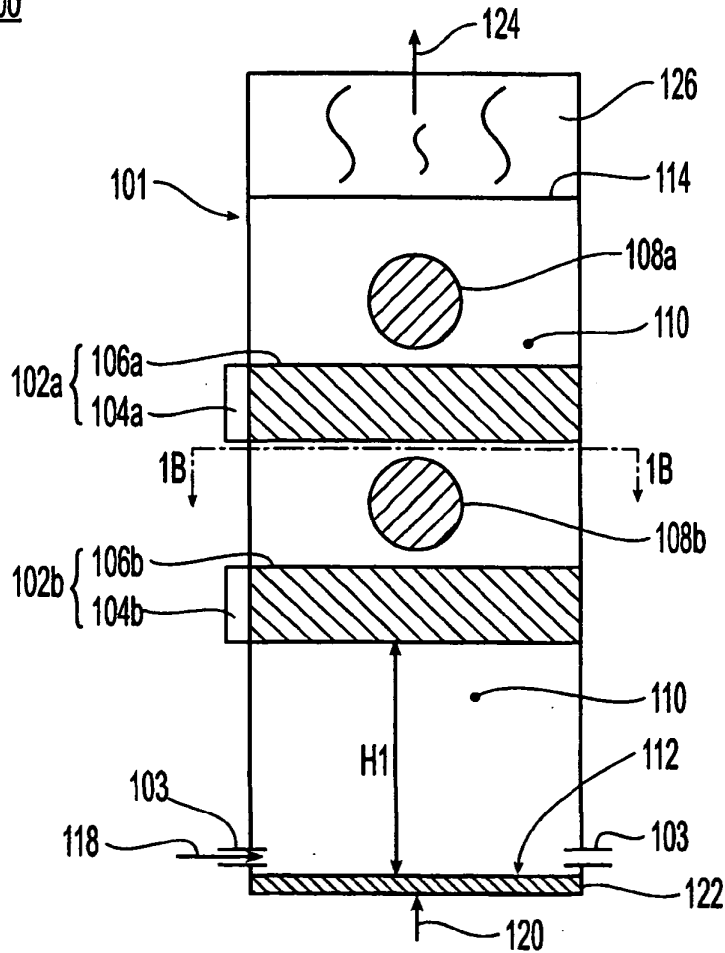


Fig. 1A

(Estado de la Técnica)

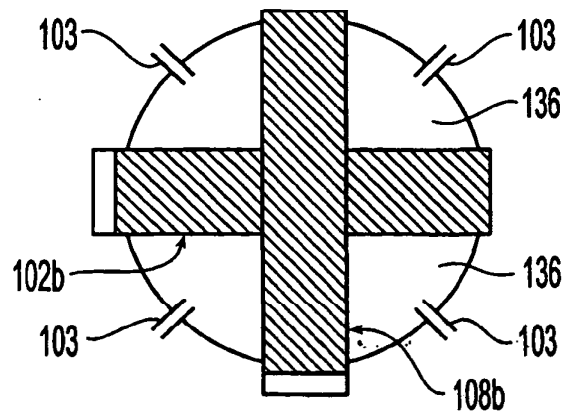


Fig. 1B

(Estado de la Técnica)

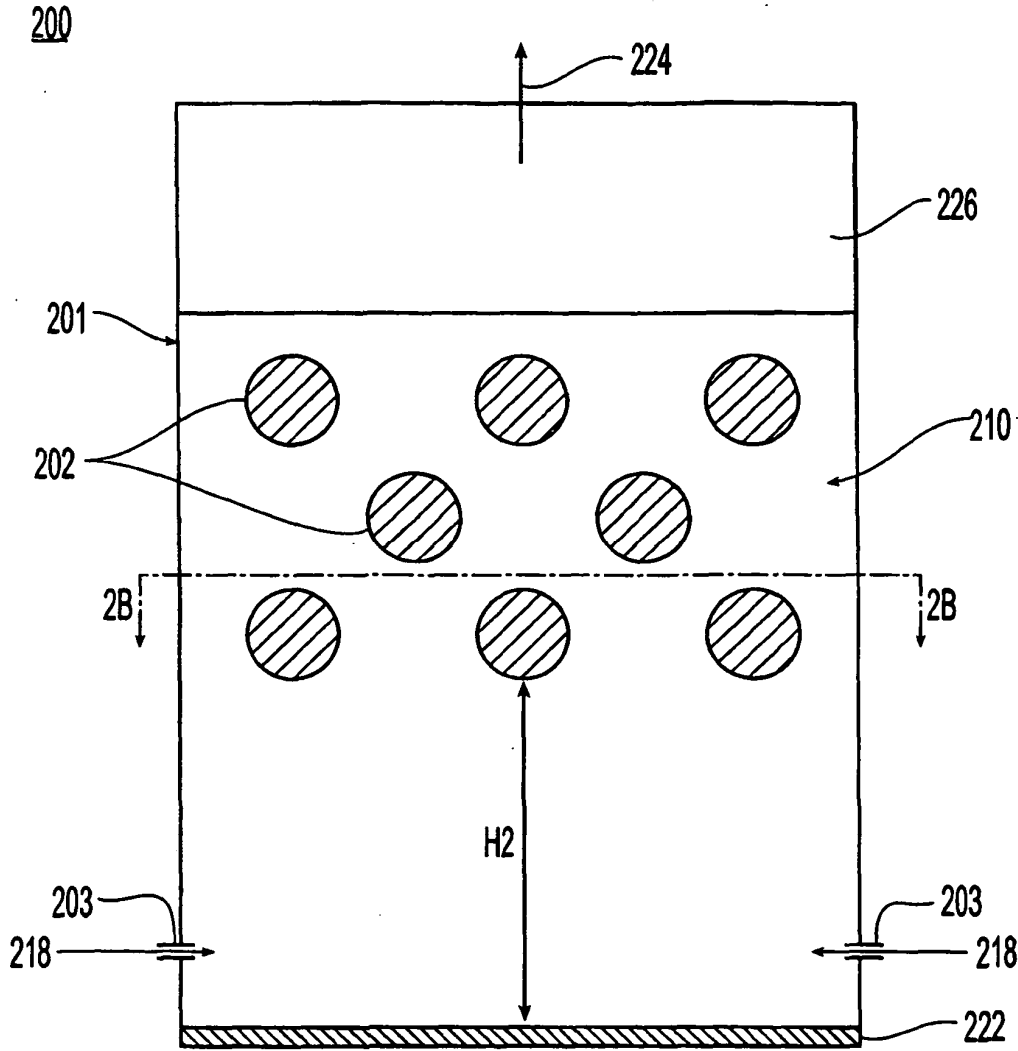


Fig. 2A
(Estado de la Técnica)

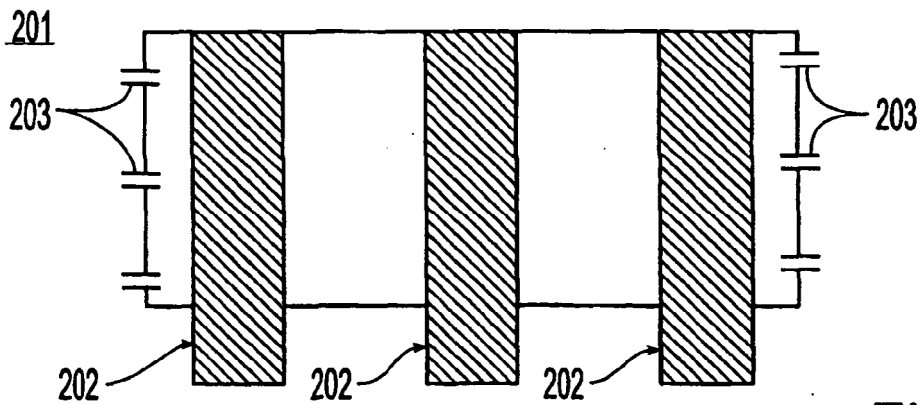


Fig. 2B
(Estado de la Técnica)

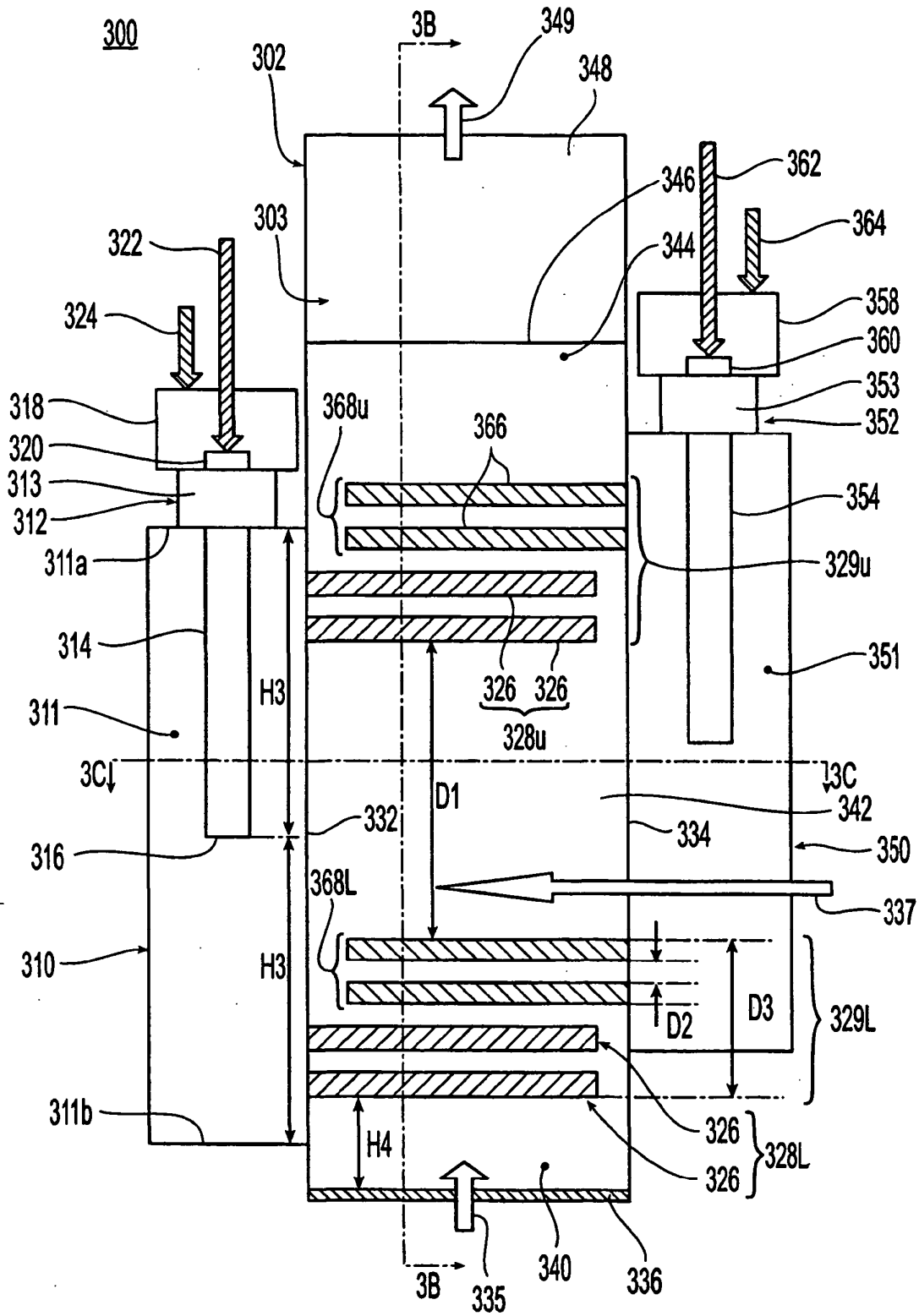


Fig. 3A

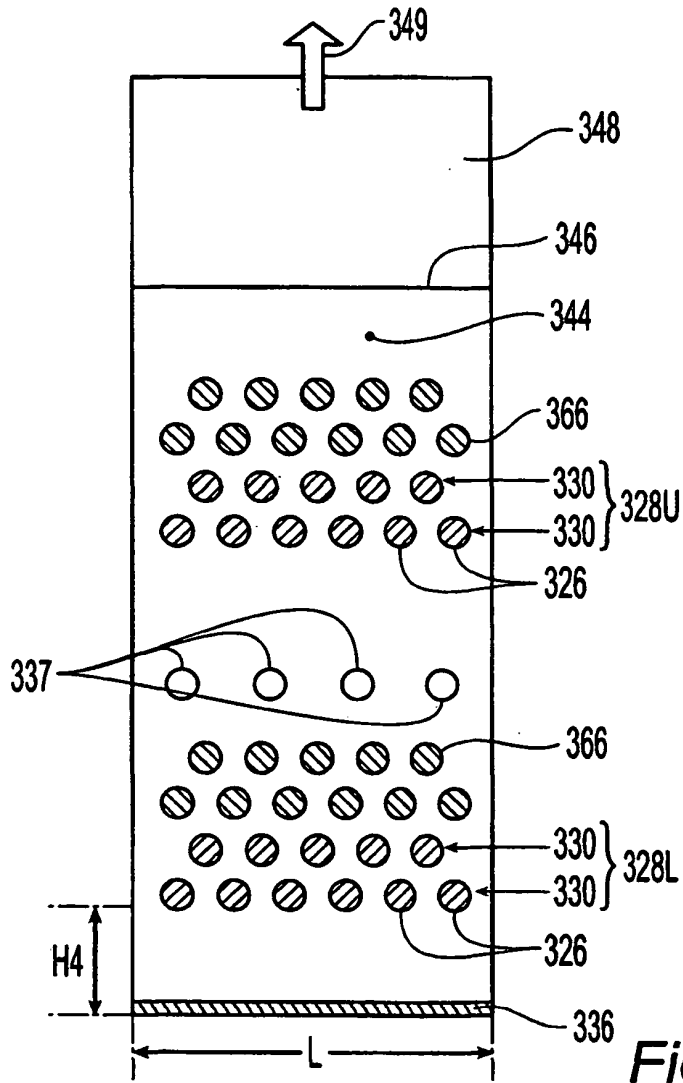


Fig. 3B

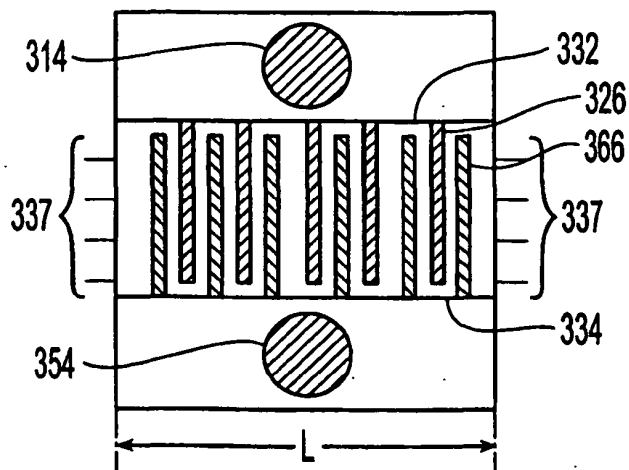
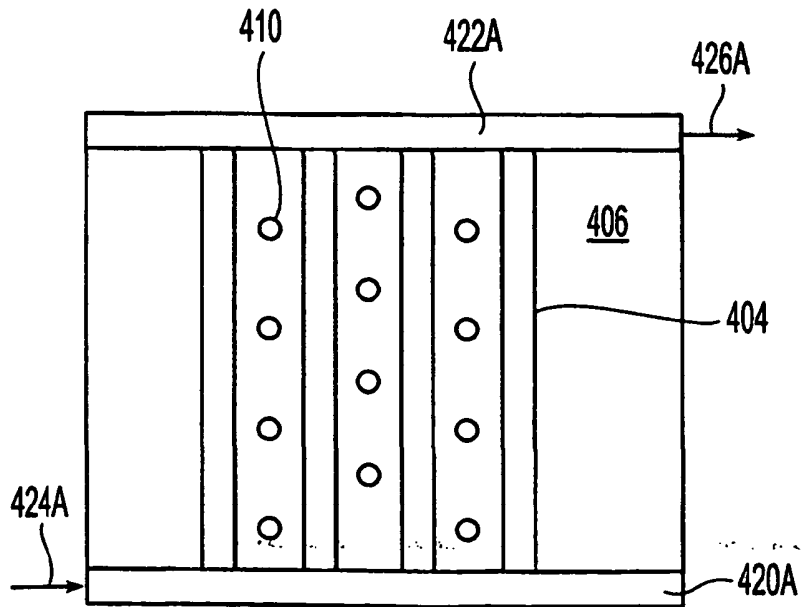
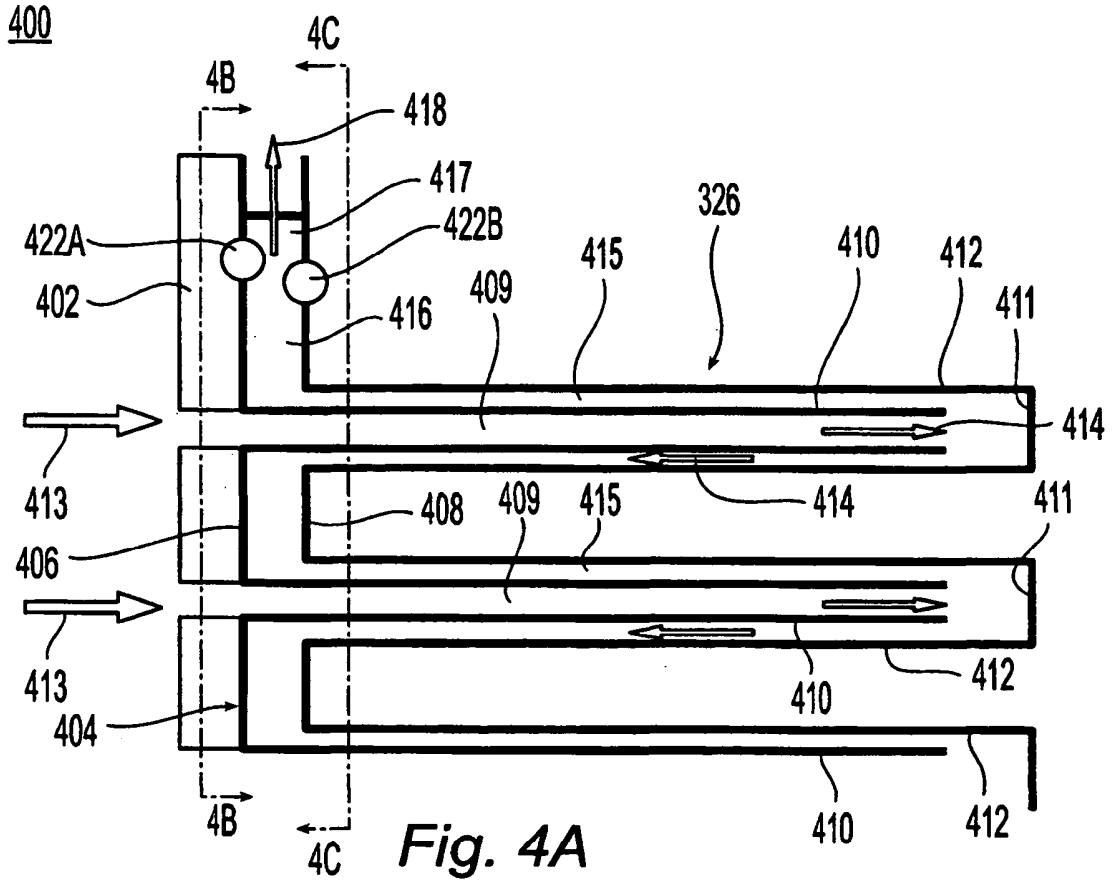


Fig. 3C



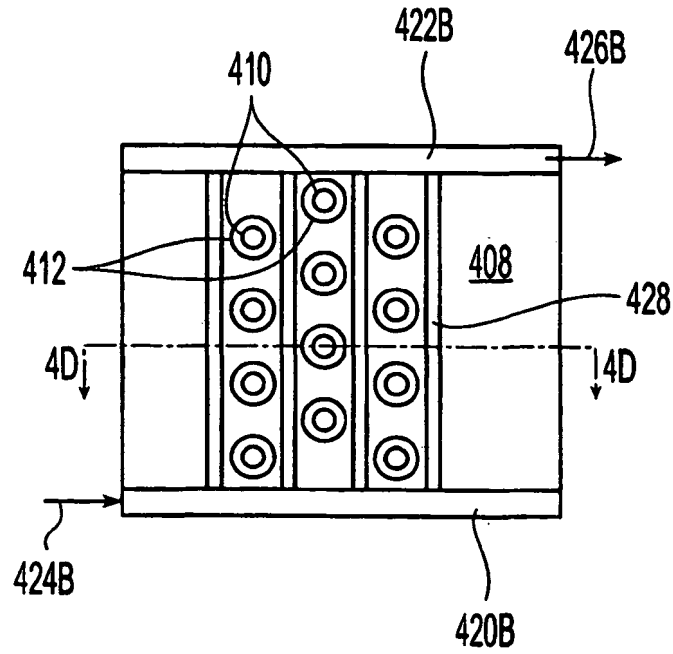


Fig. 4C

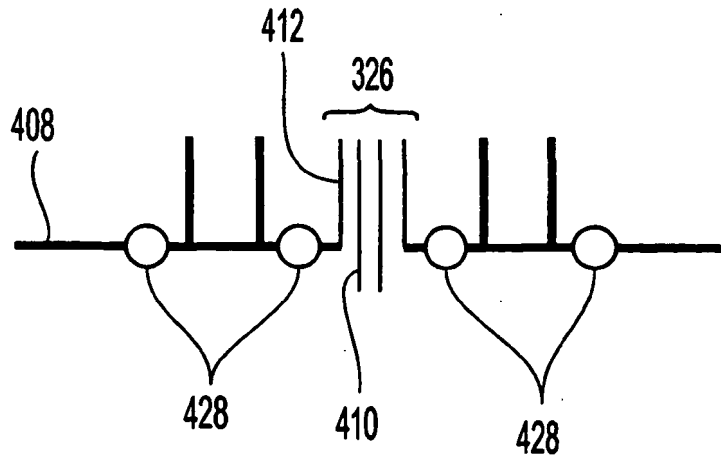


Fig. 4D

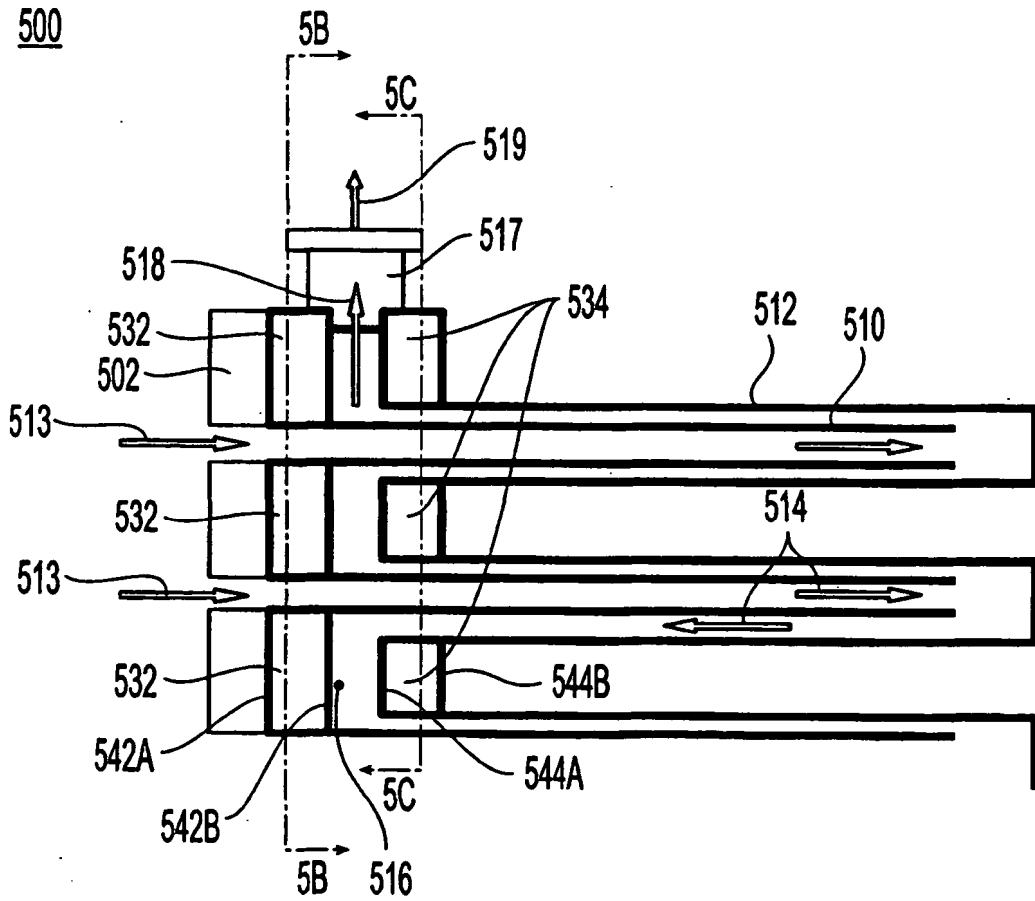


Fig. 5A

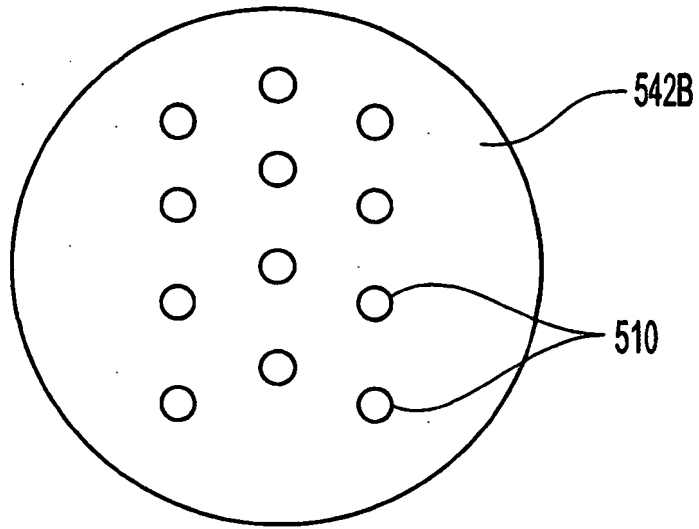


Fig. 5B

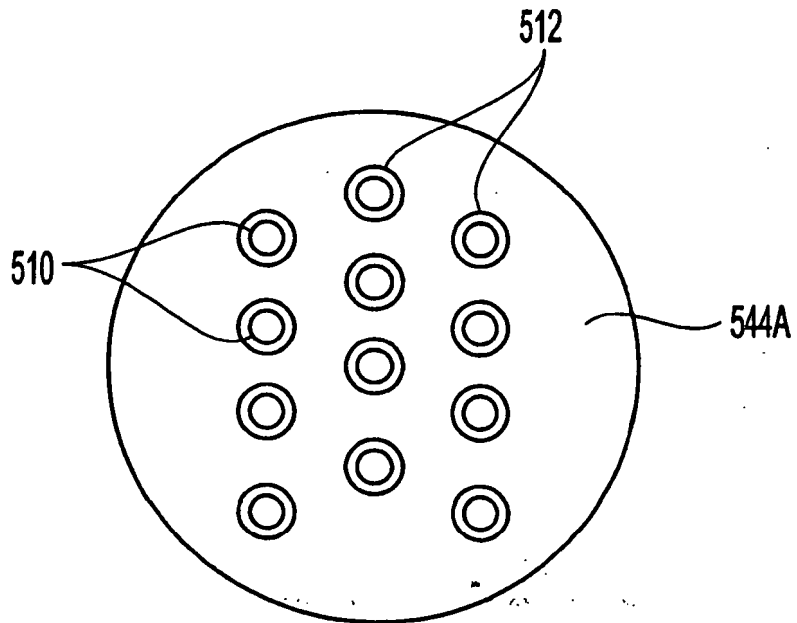


Fig. 5C

600

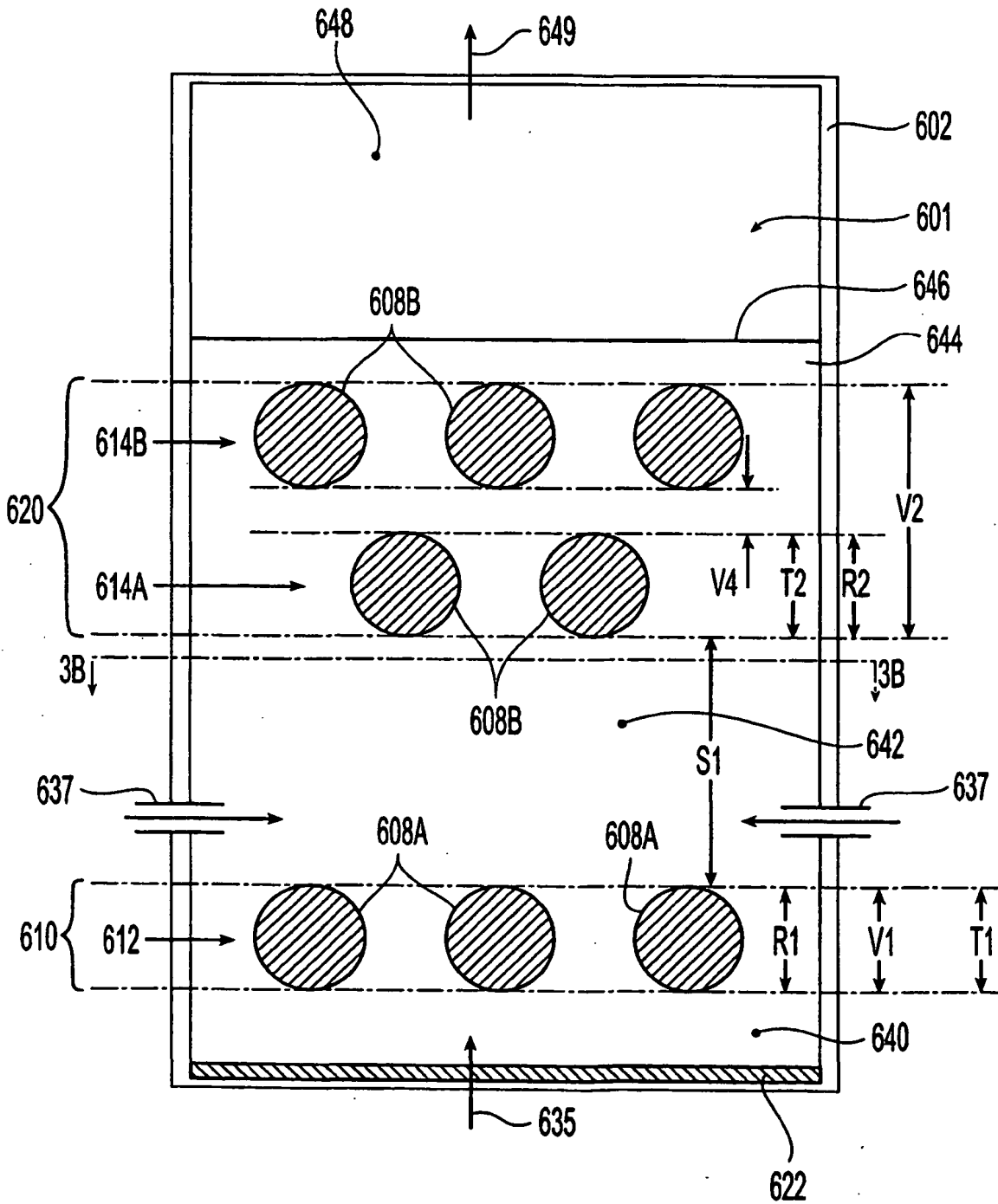


Fig. 6A

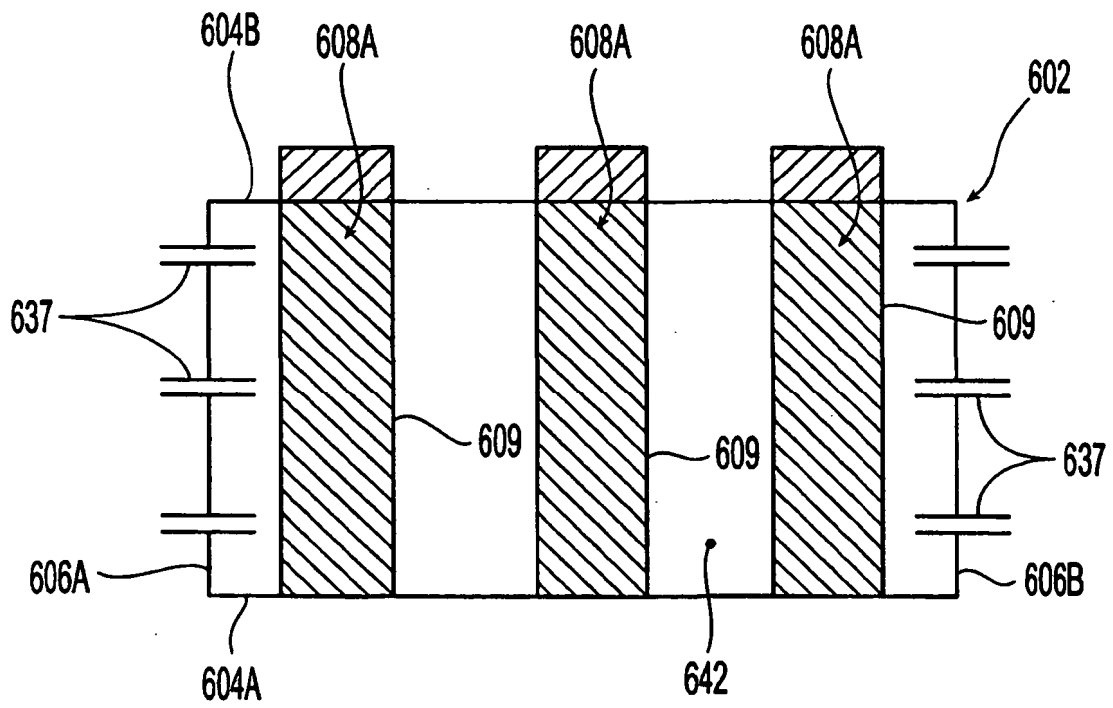


Fig. 6B