

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 998 583**

(51) Int. Cl.:

B01J 19/24 (2006.01)

B01J 8/06 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2019 E 19020710 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2024 EP 3838397**

(54) Título: **Horno reformador y su uso para el reformado con vapor**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.02.2025

(73) Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
GEORGES CLAUDE (100.00%)
75 Quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

(72) Inventor/es:

**COSCIA, ANTONIO y
GAMMEL, INGO**

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 998 583 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

Horno reformador y su uso para el reformado con vapor

5 Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un horno reformador para el reformado catalítico de un insumo que contiene carbono con vapor de agua, comprendiendo el horno reformador un espacio de radiación definido por una pluralidad de paredes, delimitado del entorno exterior, y presentando el espacio de radiación una construcción de acero realizada como esqueleto para la fijación de tuberías de suministro y descarga, quemadores y hornos reformadores dispuestos verticalmente.

Estado de la Técnica

15 Hornos reformadores para el reformado catalítico de insumos que contienen carbono con vapor de agua son conocidos en una pluralidad de formas de realización. Un ejemplo conocido para un horno reformador para el reformado catalítico de insumos que contienen carbono es el reformador de vapor para reformar gas natural y vapor de agua para generar gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, así como normalmente también sustancias acompañantes no deseadas como por ejemplo monóxido de carbono. Tales procesos de reformado discurren de forma endotérmica y lenta, de modo que para la reacción del insumo que contiene carbono con vapor de agua es necesaria una fuente de combustión externa para el calentamiento de los tubos de reformador llenos de catalizador (también tubos de reacción) del horno reformador.

25 En instalaciones a escala industrial se ha impuesto una forma de construcción en la que se utiliza un horno esencialmente en forma de caja con tubos de reformador dispuestos verticalmente. El espacio interior de la totalidad de tubos de reformador forma el espacio de reacción del horno reformador. En este caso, los tubos de reformador están dispuestos en una o varias filas en yuxtaposición.

30 Cada fila de tubos de reformador se calienta habitualmente mediante dos filas de quemadores, en donde una fila de tubos de reformador está dispuesta de manera centrada entre dos filas de quemadores que discurren paralelamente a las filas de tubos de reformador para garantizar un calentamiento uniforme de los tubos de reformador. En este caso, no se distinguen hileras de quemadores parietales de hileras de quemadores no parietales. En el caso de las filas de quemadores montadas en la pared, los quemadores están dispuestos entre una pared del horno reformador y una fila de tubos de reformador. En el caso de una fila de quemadores no montada en la pared, los quemadores están dispuestos entre dos filas de tubos de reformador.

35 Los quemadores están dispuestos dentro del denominado espacio de calentamiento del horno reformador. El suministro de gas de educto y la descarga de gas de producto a y de los tubos de reformador tienen lugar forzosamente fuera del espacio de calentamiento, de modo que las paredes de los tubos de reformador definen la separación espacial entre el espacio de reacción y el espacio de calentamiento.

40 La totalidad del espacio de calentamiento y los tubos de reformador se denomina también zona de radiación del horno reformador.

45 Los quemadores de las filas de quemadores se abastecen de aire y gas combustible a través de conductos de suministro y, en las formas de construcción más frecuentes, están dispuestos en la cubierta o en el fondo del horno reformador, en donde las llamas del quemador están orientadas correspondientemente en perpendicular hacia abajo hacia el fondo del horno reformador o están orientadas en perpendicular hacia arriba hacia la cubierta del horno reformador. También son conocidas otras disposiciones de los quemadores, como por ejemplo en las paredes laterales del horno reformador para el calentamiento lateral, o una disposición en forma de terraza para el calentamiento diagonal, sin embargo, entran en aplicación con menos frecuencia.

55 El espacio de radiación de un horno reformador con una o varias filas de tubos de reformador y varias filas de quemadores se realiza en general como construcción de acero, que sirve como esqueleto para un revestimiento refractario del espacio de calentamiento. Además, los sistemas de tuberías de suministro y descarga, los quemadores, así como los tubos de reformador, se fijan en esta construcción de acero y se sostienen por esta.

60 La cubierta del espacio de radiación se realiza en principio como construcción de acero autoportante o suspendida, ya que los apoyos dispuestos verticalmente (a modo de ejemplo pilares) para la transferencia de cargas no se pueden conducir a través del espacio de calentamiento. Por lo tanto, las unidades de soporte principal constituidas por apoyos verticales y soportes principales horizontales están dispuestas de modo que los apoyos discurren en la pared y fuera del espacio de calentamiento.

65 La longitud lateral del horno reformador se define mediante la longitud de las filas de tubos de reformador y las filas de quemadores, es decir, mediante el número de tubos de reformador y quemadores por cada fila de tubos de reformador o fila de quemadores. Si en este caso la longitud lateral del horno reformador supera una cierta medida (a

modo de ejemplo 6 a 7 metros), mediante limitaciones estáticas son necesarias más de dos unidades de soporte principal dispuestas en los lados frontales del horno reformador para transferir las cargas ocasionadas por las filas de quemadores y las filas de tubos de reformador más largas. Por lo tanto, en este caso se debe disponer una tercera unidad principal o, en caso dado, otras unidades de soporte principal entre dos unidades de soporte principal dispuestas del lado frontal. La distancia de unidad de soporte principal a unidad de soporte principal es esencialmente igual en este caso y las filas de quemadores y las filas de tubos de reformador discurren ortogonalmente a los soportes principales de una unidad e soporte principal que discurren horizontalmente a la cubierta del espacio de radiación.

5 Esta estructura de la construcción de acero se ha impuesto en hornos de reformado conocidos por el estado de la
10 técnica, ya que en este caso se trata del tipo más económico de configuración de la construcción de acero.

No obstante, el modo de disposición de unidades de soporte principal citado anteriormente también conlleva inconvenientes. Mediante las unidades de soporte principal adicionales, no dispuestas en los lados frontales del horno reformador, es decir, mediante la ampliación a tres o más del número de unidades de soporte principales en hornos reformadores grandes, los soportes principales de las unidades de soporte principal que discurren horizontalmente a la cubierta no están montados en la pared, sino de manera centrada a través del espacio de radiación del horno reformador. Mediante un soporte principal que discurre de manera centrada, en este punto es necesaria una mayor distancia al eje del tubo de reformador. En otras palabras, la distancia de un tubo de reformador al tubo de reformador siguiente de una fila de tubos de reformador se debe aumentar en aquel punto en el que el soporte principal de la
20 unidad de soporte principal discurre a lo largo de la cubierta del espacio de radiación.

A modo de ejemplo, la distancia al eje del tubo de reformador en un horno reformador estándar asciende aproximadamente a 300 mm de tubo de reformador a tubo de reformador. En la zona de un soporte principal que discurre de manera centrada, esta distancia de eje de tubo de reformador se puede aumentar también a más de 500
25 mm.

30 Esta limitación constructiva conduce a que los tubos de reformador en la zona de los ejes de soporte principal presenten temperaturas de operación más elevadas, lo que conduce en general a una vida útil reducida del tubo de reformador y tiene por consecuencia recargos de seguridad más elevados en el diseño del horno reformador. La temperatura más elevada en estos tubos de reformador se ocasiona siendo el factor de visibilidad de las llamas del quemador mayor que en los demás tubos de reformador que se encuentran dentro de una fila de tubos de reformador y en los que las distancias al eje del tubo de reformador son menores.

35 En este caso también se habla frecuentemente de la formación de las denominadas bahías dentro del horno reformador. Correspondientemente, todas las distancias al eje del tubo de reformador son iguales (reducidas) dentro de una bahía y mayores entre tubos de reformador adyacentes de dos bahías adyacentes. En el documento EP 3 182 003 A y en el documento EP 3 279 561 A1 se divultan ejemplos de hornos reformadores que presentan tales bahías.

40 El documento US 2019/0321800 A1 divulga un horno reformador en forma de caja que es subdivisible en varias secciones. Los extremos superiores de los tubos de reformador están montados de manera flexible en una estructura de apoyo que se encuentra sobre el reformador, que comprende brazos de soporte. Los brazos de soporte están unidos en dos filas adyacentes con un tubo de reactor respectivamente. Cada uno de los brazos de soporte se apoya por una viga horizontal a través de una disposición de resortes.

45 **Descripción de la invención**

La tarea de la presente invención consiste en superar al menos parcialmente las desventajas antes mencionadas del estado de la técnica.

50 Una tarea de la presente invención consiste en especial en proporcionar un horno reformador en el que las distancias entre dos tubos de reformador adyacentes dentro de una fila de tubos de reformador sean iguales en el horno reformador total.

55 Otra tarea de la presente invención consiste en proporcionar un horno reformador que no comprenda bahías.

Otra tarea de la presente invención consiste en proporcionar un horno reformador en el que los tubos de reformador presentan temperaturas de operación más uniformes que en el caso de los hornos reformadores conocidos.

60 Mediante las reivindicaciones independientes se aporta una contribución al cumplimiento al menos parcial de al menos uno de las tareas anteriores. Las reivindicaciones dependientes proporcionan formas de realización preferidas que contribuyen al cumplimiento, al menos en parte, de al menos una de los tareas. Configuraciones preferidas de componentes de una categoría de acuerdo con la invención son, si corresponde, también preferidas para componentes del mismo nombre o componentes correspondientes de una categoría de acuerdo con la invención diferente en cada caso.

65

Las expresiones "que presenta", "que comprende" o "que incluye", etc., no excluyen que puedan estar contenidos otros elementos, sustancias constitutivas, etc. El artículo indeterminado "un" no excluye que pueda estar presente una pluralidad.

- 5 Las tareas de la presente invención se solucionan al menos en parte mediante un horno reformador para el reformado catalítico de un insumo que contiene carbono con vapor de agua, que presenta un espacio de radiación definido mediante una pluralidad de paredes, delimitado del entorno exterior, en donde el espacio de radiación incluye una construcción de acero realizada como esqueleto para la fijación de tuberías de suministro y descarga, quemadores y tubos de reformador dispuestos verticalmente, en donde los quemadores están dispuestos para la generación de llamas orientadas en sentido descendente o ascendente para el calentamiento de los tubos de reformador, y en donde los quemadores y tubos de reformador están dispuestos dentro del espacio de radiación en filas como filas de quemadores y filas de tubos de reformador, en donde las filas de quemadores y las filas de tubos de reformador están dispuestas de manera alternante y paralelamente entre sí, y
- 10 15 la construcción de acero presenta una pluralidad de unidades de soporte principal, en donde cada unidad de soporte principal presenta dos apoyos dispuestos en la pared que discurren verticalmente, así como un soporte principal unido a través de los apoyos y que discurre horizontalmente, que se extiende en la longitud total del espacio de radiación, y en donde
- 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 los soportes principales están configurados para la fijación de tuberías de suministro y descarga, quemadores y tubos de reformador, y
- la construcción de acero presenta una pluralidad de soportes transversales que discurren horizontalmente, que unen los apoyos de las unidades de soporte principal entre sí. Según la invención está previsto que los soportes principales de las unidades de soporte principal estén dispuestos paralelamente a las filas de tubos de reformador y filas de quemadores y
- que los soportes transversales estén dispuestos ortogonalmente a las filas de tubos de reformador y filas de quemadores al menos en parte.
- Según la invención, los soportes principales de las unidades de soporte principal que discurren horizontalmente, en especial que discurren en la cubierta del espacio de radiación, están dispuestos paralelamente a las filas de tubos de reformador y las filas de quemadores. De este modo, los tubos de reformador se pueden disponer de manera continua en la longitud total del espacio de radiación con la misma distancia, ya que no es necesario un ensanchamiento de las distancias al eje del tubo de reformador mediante soportes principales que discurren ortogonalmente a las filas de tubos de reformador.
- Los soportes principales de las unidades de soporte principal portan la carga principal de las tuberías de suministro y descarga que están fijadas a los soportes principales de la construcción de acero. Los apoyos de las unidades de soporte principal dispuestos verticalmente están unidos preferentemente a los extremos de los soportes principales.
- Los soportes transversales que unen los apoyos de las unidades de soporte principal que discurren verticalmente están dispuestos ortogonalmente al menos en parte, pero también paralelamente a las filas de tubos de reformador y las filas de quemadores. Los soportes transversales sirven para la estabilización de la construcción de acero y no sirven para portar la carga principal de tuberías de suministro y descarga, quemadores y tubos de reformador. En un ejemplo, los soportes transversales están dispuestos en el fondo del espacio de radiación. Ya que los soportes transversales presentan un grosor esencialmente más reducido que los soportes principales de las unidades de soporte principal, estos también pueden estar dispuestos en el espacio entre ejes del quemador y ejes de los tubos de reformador sin que sea necesaria una ampliación de la distancia entre dos tubos de reformador individuales. En principio, los soportes transversales pueden estar fijados en cualquier punto entre extremo inferior y superior de un apoyo de una unidad de soporte principal que transcurre verticalmente, o en uno de los extremos.
- En hornos reformadores conocidos por el estado de la técnica, exclusivamente los soportes transversales discurren en paralelo a las filas de tubos de reformador y los quemadores. Ya que los soportes transversales no sirven para portar la carga principal de tuberías de suministro y descarga, quemadores y tubos de reformador, se producen limitaciones estáticas correspondientes y, por consiguiente, es necesaria la disposición ortogonal de los soportes principales que discurren horizontalmente. Esto conduce a los siguientes inconvenientes.
- Los soportes principales horizontales de las unidades de soporte principal dispuestos al menos sobre la vertical discurren preferentemente a lo largo de la cubierta del espacio de radiación. En este caso, los soportes principales se extienden a lo largo de la longitud total del espacio de radiación. En este caso, "longitud total" significa que la longitud de los soportes principales se diseña correspondientemente al requisito de tamaño del espacio de radiación, de modo que posibilite un calentamiento lo más uniforme posible de los tubos de reformado. En este caso, la longitud del espacio de radiación se define mediante la distancia entre ambos lados frontales del espacio de radiación, es decir, la distancia entre lado delantero y trasero.

Mediante la disposición paralela de los soportes principales respecto a las filas de quemadores y las filas de tubos de reformador se producen las siguientes ventajas:

- 5 • La vida útil de la totalidad de tubos de reformador se aumenta, ya que no se producen picos de carga en determinados tubos de reformador.
- 10 • La máxima temperatura medida en un tubo de reformador (T_{max}), referida a la totalidad de tubos de reformador, es menor. De este modo se puede reducir el espesor de pared de los tubos de reformador, lo que conduce a ahorros de material y de este modo ahorros de costes.
- 15 • Un espesor de pared más reducido conduce a su vez a menores tensiones de operación ocasionadas térmicamente en los tubos de reformador, lo que prolonga a su vez la vida útil de los tubos de reformador.
- 20 Según tamaño de la instalación, la reducción de T_{max} a esperar en este caso se sitúa en un intervalo de aproximadamente 5 a 10 Kelvin. En este caso, por la experiencia y muchos años de investigación es sabido que 10 Kelvin menos (en relación con T_{max}) corresponden a una posible reducción del espesor de pared de 10 por ciento. Si se debe mantener el espesor de pared, para ello se debe contar con un aumento de la vida útil teórica de 20.000 a 40.000 horas para un tubo de reformador.
- 25 Las filas de tubos de reformador y las filas de quemadores están dispuestas de manera alternante y en paralelo entre sí. Ya que cada fila de reformador se debe calentar desde dos lados mediante dos filas de quemadores, a lo largo de la longitud lateral del espacio de radiación, en primer lugar está dispuesta preferentemente una fila de quemadores montada en la pared. Alternantemente y en función del tamaño del horno reformador sigue un número determinado de filas de tubos de reformador y filas de quemadores no montadas en la pared, en donde la última de las filas de quemadores en el lado opuesto a la "primera" fila de quemadores montada en la pared, es a su vez una fila de quemadores montada en la pared. De este modo se produce preferentemente la siguiente disposición: En este caso, $n=0$ o un número natural con $n \geq 1$.
- 35 Los quemadores en los extremos de una fila de quemadores y los tubos de reformador en los extremos de una fila de tubos de reformador están dispuestos en los lados frontales (lado delantero y trasero) del espacio de radiación.
- 40 Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que el número de unidades de soporte principal es una función del número de filas de tubos de reformador y/o una función del número de filas de quemadores. El número de unidades de soporte principal aumenta preferentemente con el número de filas de tubos de reformador y filas de quemadores, ya que la forma más sencilla de realizar en términos de construcción se da cuando, con número creciente de filas de quemadores y filas de tubos de reformador, se proporciona un número correspondientemente mayor de soportes principales para la fijación de quemadores y tubos de reformador.
- 45 Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que el espacio de radiación presenta un número h de unidades de soporte principal y presenta un número r de filas de tubos de reformador, en donde entre h y r se considera la relación $h = r + 1$. El número de unidades de soporte principal resulta preferentemente del número de filas de tubos de reformador presentes, en donde el espacio de radiación contiene preferentemente una unidad de soporte principal más que las filas de tubos de reformador dispuestas en el espacio de radiación.
- 50 Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que el espacio de radiación presenta un número h de unidades de soporte principal y presenta un número b de filas de quemadores, en donde entre h y b se considera la relación $h = b$. El número de unidades de soporte principal resulta preferentemente del número de filas de quemadores presentes, en donde el espacio de radiación contiene preferentemente el mismo número de unidades de soporte principal que las filas de quemadores de reformador dispuestas en el espacio de radiación.
- 55 De modo más preferente, para el horno reformador se considera $h = r + 1$ y $h = b$.
- 60 Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que el número de unidades de soporte principal no es una función de la longitud de una fila de tubos de reformador y/o el número de unidades de soporte principal no es una función de la longitud de una fila de quemadores. Estando dispuestos los soportes principales y las unidades de soporte principal paralelamente y a lo largo de las filas de tubos de reformador y las filas de quemadores, el número de unidades de soporte principal no está determinado por la longitud de las filas de quemadores y las filas de tubos de reformador, como se sabe por el estado de la técnica en el caso de disposición
- 65

ortogonal. Más bien, las filas de quemadores y las filas de tubos de reformador se pueden diseñar en principio de cualquier longitud dentro del espacio de radiación, en donde el número de unidades de soporte principal está determinado únicamente mediante el número de filas de quemadores y filas de tubos de reformador.

- 5 Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que entre dos unidades de soporte principal adyacentes
- está dispuesta una fila de quemadores o
- 10 • está dispuesta una fila de quemadores y una fila de tubos de reformador adyacente a la fila de quemadores. Entre dos unidades de soporte principal adyacentes se encuentran preferentemente una fila de quemadores o una fila de quemadores y una fila de tubos de reformador adyacente a la fila de quemadores, ya que esto es sencillo y, por lo tanto, preferente en términos de construcción.
- 15 En este caso es preferente una fila de quemadores individual, una fila de quemadores montada en la pared, ya que es realizable fácilmente en términos de construcción.
- Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que dos de la pluralidad de unidades de soporte principal están dispuestas en dos paredes opuestas del espacio de radiación 20 montadas respectivamente en la pared, en donde los soportes principales de las unidades de soporte principal posicionadas en la pared discurren paralelamente a la respectiva pared. Una pluralidad de unidades de soporte principal comprende al menos dos unidades de soporte principal en el caso de la realización más pequeña posible del horno reformador, a modo de ejemplo en el caso de uso de solo una única fila de tubos de reformador y dos filas de quemadores, cuyos quemadores calientan los tubos de reformador de la fila de tubos de reformador individual desde 25 dos lados. En este caso, ambas unidades de soporte principal están dispuestas en la pared respectivamente, en donde los soportes principales discurren a lo largo de las paredes laterales de un lado frontal al lado frontal opuesto del espacio de radiación. En el caso de hornos reformadores más grandes que comprenden más de una única fila de tubos de reformador, habitualmente son necesarias otras unidades de soporte principal. Estas unidades de soporte principal adicionales están dispuestas entre las unidades de soporte principal dispuestas en la pared, en donde sus soportes principales discurren horizontalmente y distanciados de las paredes laterales, así como a lo largo de la 30 cubierta del espacio de radiación.
- Una forma preferente de realización del horno reformador según la reivindicación está caracterizada por que las unidades de soporte principal dispuestas en la pared disponen de más de dos apoyos dispuestos en la pared que discurren verticalmente. Las unidades de soporte principal dispuestas en la pared pueden disponer de más de dos apoyos que discurren verticalmente, a modo de ejemplo un tercer apoyo, que están dispuestos de manera centrada entre ambos apoyos extremos de las unidades de soporte principal. De este modo se puede reforzar/mejorar la fuerza 35 de soporte de las unidades de soporte principal dispuestas en la pared. Ya que inmediatamente a lo largo de la pared del espacio de radiación no discurre ninguna fila de tubos de reformador o fila de quemadores, un apoyo vertical adicional dispuesto en este punto no interfiere.
- Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que todas las distancias entre dos tubos de reformador adyacentes dentro de una fila de tubos de reformador y/o todas las distancias 40 entre dos quemadores adyacentes dentro de una fila de quemadores dentro del espacio de radiación total del horno reformador son iguales. Esta regularidad y simetría en la disposición de unidades de soporte principal según la invención y es preferente, ya que esto conduce a una uniformidad de calentamiento de los tubos de reformador. De este modo se evitan del mejor modo posible picos de temperatura en las paredes de los tubos de reformador y en el espacio interior (lecho de catalizador) 45 de los tubos de reformador. Esto conduce también a una uniformidad de patrones de llama de los quemadores, evitándose en la medida de lo posible, a modo de ejemplo, la curvatura indeseable de las llamas hacia el centro del horno reformador.
- Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que todas las distancias entre dos tubos de reformador adyacentes, medidas mediante las horizontales que discurren medidas a 50 través de los tubos de reformador adyacentes entre dos ejes de tubo de reformador son menores o iguales que 500 mm, preferentemente se sitúan en un intervalo de 250 a 450 mm, más preferentemente se sitúan en un intervalo de 280 a 320 mm.
- Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que la temperatura 55 del gas de producto extraído a través de las tuberías de descarga en el medio asciende a hasta 950 °C, preferentemente se sitúa en un intervalo de 900 a 950 °C, más preferentemente se sitúa en un intervalo de 925 a 950 °C.
- Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que la 60 construcción de acero sirve como esqueleto para un revestimiento refractario del espacio de radiación, en donde el espacio dentro del revestimiento refractario define un espacio de calentamiento para el calentamiento de los tubos de 65

reformador. La construcción de acero está dispuesta dentro del denominado espacio de radiación. Las paredes o paredes exteriores del espacio de radiación delimitan este del entorno circundante. La construcción de acero representa a su vez el esqueleto para un revestimiento refractario del horno reformador, en donde este revestimiento está dispuesto hacia el interior del espacio de radiación visto desde las paredes exteriores.

- 5 Una forma preferente de realización del horno reformador según la invención está caracterizada por que cada unidad de soporte principal presenta una construcción entramada dispuesta por encima de la unidad de soporte principal y unida por arrastre de fuerza al soporte principal. La construcción entramada está unida (por arrastre de fuerza) a los soportes principales mediante uniones roscadas. A través de tal construcción entramada se pueden transferir cargas adicionales a través de los soportes principales de las unidades de soporte principal.

- 10 Las tareas se solucionan además al menos en parte mediante el uso del horno reformador según la invención según al menos una de las formas de realización citadas anteriormente para el reformado con vapor de un insumo que contiene carbono, en especial de gas natural. En el caso del insumo que contiene carbono se puede tratar de cualquier insumo que contiene carbono conocido por el especialista que sea accesible para el reformado con vapor para la generación de gas de síntesis.

Ejemplos

- 15 20 La invención se explica más detalladamente a continuación mediante un ejemplo de realización. En la siguiente descripción detallada del ejemplo de realización se hace referencia a los dibujos adjuntos, que forman una parte de ello y en los cuales están representadas de manera ilustrativa formas de realización específicas de la invención. En este contexto, se utiliza la terminología específica de direcciones como "arriba", "abajo", "delante", "detrás", etc. con relación a la orientación de la o las figuras descritas. Dado que componentes de formas de realización pueden posicionarse en una pluralidad de orientaciones, la terminología específica de direcciones sirve para ilustrar y no es limitante de manera alguna. El experto, tiene además claro que se pueden utilizar otras formas de realización y se pueden llevar a cabo variaciones estructurales o lógicas, sin apartarse del alcance de protección de la invención. La siguiente descripción detallada por ello no debe entenderse en un sentido limitante, y el alcance de protección de las formas de realización se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos, a menos que no se indique lo contrario, no están a escala.

Otras características, ventajas y posibilidades de aplicación de la invención resultan de la siguiente descripción de ejemplos de realización en relación con los dibujos.

- 35 40 Muestran,
la Figura 1,
una representación esquemática y fuertemente simplificada de un horno reformador 100 con construcción de acero según el estado de la técnica,

- 45 50 la Figura 2,
una representación esquemática y fuertemente simplificada de un horno reformador 200 con construcción de acero según la invención,

- la Figura 3a
55 50 una representación esquemática del perfil de flujo de calor de una fila de tubos de reformador 300a según el estado de la técnica en la formación de bahías

- la Figura 3b
55 55 una representación esquemática del perfil de flujo de calor de una fila de tubos de reformador 300b según el horno reformador según la invención sin bahías.

- 60 65 La Figura 1 muestra una representación esquemática y simplificada en perspectiva de un horno reformador 100 con una construcción de acero según el estado de la técnica. Se muestra esencialmente el espacio de radiación del horno reformador 100, que presenta la verdadera construcción de acero, un revestimiento refractario, así como varias filas de tubos de reformador y filas de quemadores. La construcción de acero sirve para la fijación de los quemadores, tubos de reformador, así como conductos de suministro y descarga a/de los quemadores/tubos de reformador. Por motivos de claridad no se muestran detalles en relación con los medios de fijación.

- El horno reformador 100 mostrado presenta cuatro filas de quemadores 101a, 101b, así como tres filas de tubos de reformador 102. Cada una de las filas de quemadores 101a, 101b presenta seis quemadores 103 dispuestos en fila. Cada una de las filas de tubos de reformador 102 presenta ocho tubos reformadores 104 dispuestos en fila. En el caso

de las filas de quemadores dispuestas respectivamente en el borde izquierdo y derecho de la figura se trata de las filas de quemadores 101a montadas en la pared, que calientan únicamente una fila de tubos de reformador 102 dispuesta en posición adyacente y paralelamente. Las filas de quemadores dispuestas entre las filas de quemadores 101a montadas en la pared son las filas de quemadores 101b no montadas en la pared que calientan en cada caso dos filas de tubos de reformador 102 dispuestas paralelamente. Las filas de tubos de reformador 102, así como las filas de quemadores 101a, 101b, se extienden respectivamente en sentido z de la representación. Los quemadores 103 generan respectivamente llamas orientadas hacia abajo, es decir, la llama se extiende esencialmente en sentido y del dibujo y calienta de este modo los tubos de reformador 104 dispuestos verticalmente, que se extienden asimismo en sentido y. Los quemadores 103 se proyectan en el espacio de calentamiento del espacio de radiación del horno reformador, que se define hacia fuera como delimitación mediante el revestimiento refractario 105. En este caso, los tubos de reformador 103 que discurren verticalmente penetran en la cubierta y el fondo del revestimiento refractario 105 de modo que la longitud principal de un tubo de reformador 104 es calentable mediante los quemadores dispuestos en posición adyacente. Por motivos de claridad no se muestran los conductos de suministro para el abastecimiento de quemadores con gas de combustión y agente oxidante, así como de los tubos de reformador con gas de educto. Lo mismo se considera para canales de gas de salida y conductos de descarga para la extracción de gases de escape del quemador, así como conductos de descarga para la evacuación de gases de producto.

La construcción de acero del horno reformador mostrado presenta en total tres unidades de soporte principal. Cada una de las unidades de soporte principal presenta dos apoyos verticales 106a y 106b, así como un soporte principal horizontal 107. Los apoyos 106a, 106b presentan respectivamente un zócalo 111. El soporte principal 107 que discurre horizontalmente une ambos apoyos que discurren verticalmente a través de una unión por arrastre de fuerza o por arrastre de materia, por ejemplo mediante una unión atornillada o una unión soldada. Del total de tres unidades de soporte principal, dos están dispuestas en los lados delanteros (lado delantero y trasero, respectivamente definidos por un plano xy) del horno reformador, y una está de las unidades de soporte principal está dispuesta entre estas unidades de soporte principal dispuestas del lado frontal. En este caso, los apoyos verticales 106a, 106b de las unidades de soporte principal están dispuestos en cada caso en la pared, en donde la unidad de soporte principal dispuesta entre las unidades de soporte principal dispuestas del lado frontal comprende apoyos 106a, 106b, que discurren a lo largo del área lateral (definida mediante planos yz) del horno reformador. Los apoyos 106a, 106b de las unidades de soporte principal dispuestas del lado frontal discurren en la zona del límite entre las paredes de los lados frontales (plano xy) y las paredes de las áreas laterales (plano yz) del horno reformador 100. Las paredes del horno reformador encierran el espacio de radiación junto con la construcción de acero, el revestimiento refractario 105, así como los quemadores 103 y los tubos de reformador 104. Por motivos de claridad no se muestran las paredes.

Entre los apoyos 106a, 106b de las unidades de soporte principal están dispuestos apoyos auxiliares 108 adicionales unidos a los soportes principales, que discurren verticalmente. Los apoyos auxiliares 108 sirven para la estabilización adicional de la construcción de acero. Los apoyos auxiliares 108 penetran en la cubierta del revestimiento refractario 105 y de este modo están dispuestos parcialmente dentro del espacio de calentamiento del horno reformador 100. Por cada unidad de soporte principal, en el ejemplo de horno reformador 100 están previstos tres apoyos auxiliares 108.

En este caso, el número de apoyos auxiliares 108 depende en principio de la anchura del horno reformador, es decir, del número de filas de tubos de reformador y filas de quemadores. Para la estabilización estática adicional, por encima del soporte principal 107, la construcción de acero presenta una construcción entramada 109 unida por arrastre de fuerza al soporte principal 107, que presenta puntales dispuestos en diagonal y verticalmente y unidos entre sí.

Los soportes principales 107 que discurren horizontalmente de las unidades de soporte principal están dispuestos ortogonalmente a las filas de quemadores 101a, 101b y las filas de tubos de reformador 102. En otras palabras, los soportes principales 107 discurren en sentido x de la representación, mientras que las filas de quemadores 101a, 101b y las filas de reformadores 102 discurren en sentido z de la representación. Debido a la longitud de las filas de tubos de reformador 102 (respectivamente con ocho tubos de reformador 104) y filas de quemadores 101a, 101b (respectivamente con seis quemadores 103) no son suficientes dos soportes principales dispuestos del lado frontal por requisitos estáticos. Es decir, la tercera unidad de soporte principal dispuesta entre las unidades de soporte principal dispuestas del lado frontal es necesaria para cumplir los requisitos estáticos de longitud de filas de tubos de reformador y longitud de filas de quemadores mostradas. El número de unidades de soporte principal de un horno reformador convencional aumenta en principio con la longitud de una fila de tubos de reformador 102 y la longitud de una fila de quemadores 101a, 101b.

La tercera unidad de soporte principal ocupa un cierto espacio, a modo de ejemplo debido a los apoyos auxiliares que discurren verticalmente, mediante lo cual la distancia entre el tercer y el cuarto quemadores de una fila de quemadores 101a, 101b se debe aumentar en comparación con todas las demás distancias entre quemadores. Lo mismo se considera para la distancia entre el cuarto y quinto tubos de reformador de una fila de tubos de reformador 102. Esta limitación constructiva conduce a que los tubos de reformador 104 en la zona de la unidad de soporte principal presenten temperaturas de operación más elevadas, lo que conduce en general a una vida útil reducida y/o tiene por consecuencia un recargo de seguridad más elevados en el diseño de los tubos de reformador. Las temperaturas más elevadas del en este caso cuarto y quinto tubos de reformador de una fila de tubos de reformador 102 son ocasionadas al ser el factor de visibilidad de estos tubos de reformador de las llamas de quemador mayor que el factor de visibilidad en los demás tubos.

- La unidad de soporte principal dispuesta de manera centrada subdivide el horno reformador en dos denominadas "bahías", en donde cada bahía presenta tres filas parciales de tubos de reformador respectivamente con cuatro tubos de reformador y cuatro filas parciales de quemadores respectivamente con tres quemadores. En principio, tal formación de bahías no es deseable.
- La Figura 2 muestra una representación esquemática y simplificada en perspectiva de un horno reformador 200 con una construcción de acero según la invención. Se muestra esencialmente el espacio de radiación del horno reformador 200, que presenta la verdadera construcción de acero, un revestimiento refractario, así como varias filas de tubos de reformador y filas de quemadores. La construcción de acero sirve para la fijación de los quemadores, tubos de reformador, así como conductos de suministro y descarga a/de los quemadores/tubos de reformador. Por motivos de claridad no se muestran detalles en relación con los medios de fijación.
- Análogamente al horno reformador de la Figura 1, el horno reformador 200 mostrado presenta cuatro filas de quemadores 201a, 201b, así como tres filas de tubos de reformador 202. Cada una de las filas de quemadores 201a, 201b presenta seis quemadores 203 dispuestos en serie. Cada una de las filas de tubos de reformador 202 presenta ocho tubos reformadores 204 dispuestos en fila. En el caso de las filas de quemadores dispuestas respectivamente en el borde izquierdo y derecho de la figura se trata de las filas de quemadores 201a montadas en la pared, que calientan únicamente una fila de tubos de reformador 202 dispuesta en posición adyacente y paralelamente. Las filas de quemadores dispuestas entre las filas de quemadores 201a montadas en la pared son las filas de quemadores 201b no montadas en la pared que calientan en cada caso dos filas de tubos de reformador 202 dispuestas paralelamente. Las filas de tubos de reformador 202, así como las filas de quemadores 201a, 201b, se extienden respectivamente en sentido z de la representación. Los quemadores 103 generan respectivamente llamas orientadas hacia abajo, es decir, la llama se extiende esencialmente en sentido y del dibujo y calienta de este modo los tubos de reformador 204 dispuestos verticalmente, que se extienden asimismo en sentido y. Los quemadores 203 se proyectan en el espacio de calentamiento del espacio de radiación del horno reformador 200, que se define hacia fuera como delimitación mediante el revestimiento refractario 205. En este caso, los tubos de reformador 203 que discurren verticalmente penetran en la cubierta y el fondo del revestimiento refractario 205 de modo que la longitud principal de un tubo de reformador 204 es calentable mediante los quemadores dispuestos en posición adyacente. Por motivos de claridad no se muestran los conductos de suministro para el abastecimiento de quemadores con gas de combustión y agente oxidante, así como de los tubos de reformador con gas de educto. Lo mismo se considera para canales de gas de salida y conductos de descarga para la extracción de gases de escape del quemador, así como conductos de descarga para la evacuación de gases de producto.
- La construcción de acero del horno reformador mostrado presenta en total cuatro unidades de soporte principal. Cada una de las unidades de soporte principal presenta dos apoyos verticales 206a y 206b, así como un soporte principal horizontal 207. Los apoyos 206a, 206b presentan respectivamente un zócalo 211. El soporte principal 207 que discurre horizontalmente une ambos apoyos que discurren verticalmente a través de una unión por arrastre de fuerza o por arrastre de materia, por ejemplo mediante una unión atornillada o una unión soldada. En este caso, dos de las unidades de soporte principal están dispuestas en la pared en las áreas laterales (definidas respectivamente por el plano yz) del horno reformador, y dos de las unidades de soporte principal están dispuestas entre unidades de soporte principal citadas anteriormente. En este caso, todos los apoyos verticales 206a, 206b de las unidades de soporte principal están dispuestas en la pared. Los apoyos 206a, 206b de ambas unidades de soporte principal dispuestas entre las unidades de soporte principal dispuestas en las áreas laterales discurren a lo largo de las áreas de los lados frontales (definidas por el plano xy) del horno reformador 200. Los apoyos 206a, 206b de las unidades de soporte principal dispuestas en la pared en las áreas laterales discurren en la zona del límite entre las paredes de los lados frontales (plano xy) y las paredes de las áreas laterales (plano yz) del horno reformador 200. Las paredes del horno reformador encierran el espacio de radiación junto con la construcción de acero, el revestimiento refractario 205, así como los quemadores 203 y los tubos de reformador 204. Por motivos de claridad no se muestran las paredes del horno reformador 200.
- Entre los apoyos 206a, 206b de las unidades de soporte principal están dispuestos apoyos auxiliares 208 adicionales unidos a los soportes principales, que discurren verticalmente. Los apoyos auxiliares 208 sirven para la estabilización adicional de la construcción de acero. Los apoyos auxiliares 208 penetran en la cubierta del revestimiento refractario 205 y de este modo están dispuestos parcialmente dentro del espacio de calentamiento del horno reformador 200. En el ejemplo del horno reformador 200, por cada soporte principal 207 no montado en la pared está previsto un apoyo auxiliar 208. En este caso, el número de apoyos auxiliares 208 depende en principio de la longitud del horno reformador, es decir, del número de tubos de reformador 204 y quemadores 203 por cada fila de tubos de reformador, o bien fila de quemadores. Para la estabilización estática adicional, por encima del soporte principal 207, la construcción de acero presenta una construcción entramada 209 unida por arrastre de fuerza al soporte principal 207, que presenta puntales dispuestos en diagonal y verticalmente y unidos entre sí. Los apoyos de las unidades de soporte principal están unidos entre sí mediante soportes transversales 210 que discurren horizontalmente. Los soportes transversales sirven para la estabilización del horno reformador, pero no portan la carga principal de quemadores 203 y tubos de reformador 204, así como además conductos de suministro y descarga.
- Según la invención, los soportes principales 207 que discurren horizontalmente de las unidades de soporte principal están dispuestos paralelamente a las filas de quemadores 201a, 201b y las filas de tubos de reformador 202. En otras

palabras, los soportes principales 207 discurren en sentido z de la representación, lo que se aplica también a las filas de quemadores 201a, 201b y las filas de reformadores 202, que se extienden asimismo en sentido z. Mediante la disposición de unidades de soporte principal según la invención, en especial en base a los soportes principales 207 dispuestos paralelamente a las filas de quemadores y de tubos de reformador, los quemadores 203 y los tubos de reformador 204 se pueden disponer a distancia uniforme por cada fila. En este caso, el número de unidades de soporte principal necesarias aumenta con el número de filas de tubos de reformador y filas de quemadores. En el presente caso, por cada fila de quemadores es necesaria una unidad de soporte principal y una unidad de soporte principal más que las filas de tubos de reformador presentes. En este caso, el número de tubos de reformador y quemadores no está limitado hacia arriba en principio, ya que entre los apoyos 206a y 207a se pueden disponer tantos apoyos auxiliares 208 como se desee, que discurren entre las filas de tubos de reformador 202 y las filas de quemadores 201a, 201b y no interfieren en la simetría de filas de este modo. La construcción de acero según la invención posibilita la construcción de un horno reformador que no requiere "bahías" debido a la distancia uniforme de tubos de reformador.

Mediante la distancia uniforme de tubos de reformador 202 por cada fila de tubos de reformador se puede reducir la temperatura máxima por tubo, lo que se explica esquemáticamente mediante la representación de las Figuras 3a y 3b.

La Figura 3a muestra un corte de una fila de tubos de reformador del horno reformador 100 con seis tubos de reformador 301a, así como el correspondiente perfil de temperatura 302a. En este caso, el soporte principal 303a de una unidad de soporte principal discurre ortogonalmente a la fila de tubos de reformador y por este motivo, como se explicó anteriormente, requiere una mayor distancia entre aquellos tubos de reformador 301a que discurren en la zona del soporte principal 303a. De este modo, en esta zona se produce un perfil de temperatura desfavorable en comparación con la zona restante de la fila de tubos de reformador. Esto es ocasionado en especial por el mayor factor de visibilidad de tubos de reformador dispuestos en la zona del soporte principal 303a respecto a las llamas de quemador adyacentes.

La Figura 3b muestra el caso análogo para un horno reformador 200 según la invención con tubos de reformador 301b, así como el correspondiente perfil de temperatura 302b. Mediante la distancia uniforme de tubos de reformador 301b también se hace uniforme el perfil de temperatura 302b, mediante lo cual se puede reducir la temperatura de operación máxima de un tubo de reformador 301b. De modo ventajoso, el horno reformador 200 según la invención no presenta ningún tipo de "bahía".

Lista de signos de referencia

- 35 100 Horno reformador (estado de la técnica)
- 200 Horno reformador (invención)
- 40 101a, 201a Fila de quemadores (montados en la pared)
- 101b, 201b Fila de quemadores (no montados en la pared)
- 102, 202 Fila de tubos de reformador
- 45 103, 203 Quemador
- 104, 204 Tubo de reformador
- 50 105, 205 Revestimiento refractario
- 106a, 106b, 206a, 206b Apoyo
- 55 107, 207 Soporte principal
- 108, 208 Apoyo auxiliar
- 109, 209 Construcción entramada
- 210 Soporte transversal
- 60 111, 211 Zócalo
- 301a, 301b Tubo de reformador
- 65 302a, 302b Perfil de calor

ES 2 998 583 T3

303a Soporte principal

REIVINDICACIONES

1. Un horno reformador (200) para el reformado catalítico de un insumo que contiene carbono con vapor de agua, que presenta
 - 5 un espacio de radiación definido mediante una pluralidad de paredes, delimitado del entorno exterior, en donde el espacio de radiación contiene una construcción de acero realizada como esqueleto para la fijación de tuberías de suministro y descarga, quemadores (203) y tubos de reformador (204) dispuestos verticalmente, en donde los quemadores (203) están dispuestos para la generación de llamas orientadas en sentido descendente o ascendente para el calentamiento de los tubos de reformado (204), y en donde los quemadores (203) y los tubos de reformador (204) están dispuestos dentro del espacio de radiación en filas como filas de quemadores (201a, 201b) y filas de tubos de reformador (202), en donde las filas de quemadores (201a, 201b) y las filas de tubos de reformador (202) están dispuestas de manera alterna y paralelamente entre sí, y
 - 10 la construcción de acero presenta una pluralidad de unidades de soporte principal, en donde cada unidad de soporte principal presenta dos apoyos (206a, 206b) dispuestos en la pared que discurren verticalmente, así como un soporte principal (207) unido a través de los apoyos y que discurre horizontalmente, que se extiende en la longitud total del espacio de radiación, y en donde
 - 15 los soportes principales (207) están configurados para la fijación de tuberías de suministro y descarga, quemadores (203) y tubos de reformador (204), y
 - 20 la construcción de acero presenta una pluralidad de soportes transversales (210) que discurren horizontalmente, que unen los apoyos de las unidades de soporte principal entre sí,
caracterizado por que
 - 25 los soportes principales (207) de las unidades de soporte principal respecto a las filas de tubos de reformador (202) y filas de quemadores (201a, 201b) están dispuestas paralelamente y los soportes transversales (210) respecto a las filas de tubos de quemador (202) y filas de quemadores (201a, 201b) están dispuestas ortogonalmente al menos en parte.
2. Horno reformador según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el número de unidades de soporte principal es una función del número de filas de tubos de reformador (202) y/o una función del número de filas de quemadores (201a, 201b).
- 30 3. Horno reformador según una la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el espacio de radiación presenta un número h de unidades de soporte principal y presenta un número r de filas de tubos de reformador (202), en donde entre h y r se considera la relación $h = r + 1$.
- 35 4. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el espacio de radiación presenta un número h de unidades de soporte principal y presenta un número b de filas de quemadores (201a, 201b), en donde entre h y b se considera la relación $h = b$.
- 40 5. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el número de unidades de soporte principal no es una función de la longitud de una fila de tubos de reformador (202) y/o el número de unidades de soporte principal no es una función de la longitud de una fila de quemadores (201a, 201b).
- 45 6. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** entre dos unidades de soporte principal adyacente
 - está dispuesta una fila de quemadores (201a, 201b) o
 - está dispuesta una fila de quemadores (201a, 201b) y una fila de tubos de reformador (202) adyacente a la fila de quemadores.
- 50 7. Horno reformador según la reivindicación 6, **caracterizado por que** la fila de quemadores individuales es una fila de quemadores montada en la pared (201a).
- 55 8. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** dos de la pluralidad de unidades de soporte principal están dispuestas en dos paredes opuestas del espacio de radiación montadas respectivamente en la pared, en donde los soportes principales de las unidades de soporte principal posicionadas en la pared discurren paralelamente a la respectiva pared.
- 60 9. Horno reformador según la reivindicación 8, **caracterizado por que** las unidades de soporte principal dispuestas en la pared disponen de más de dos apoyos (206a, 206b) dispuestos en la pared que discurren verticalmente.
- 65 10. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** todas las distancias entre dos tubos de reformador (204) adyacentes dentro de una fila de tubos de reformador (202) y/o todas las distancias entre dos quemadores adyacentes (203) dentro de una fila de quemadores (201a, 201b) dentro del espacio de radiación total del horno reformador son iguales.
11. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** todas las distancias entre dos tubos de reformador (204) adyacentes, medidas mediante las horizontales que discurren medidas a través

de los tubos de reformador (204) adyacentes entre dos ejes de tubo de reformador son menores o iguales que 500 mm, preferentemente se sitúan en un intervalo de 250 a 450 mm, más preferentemente se sitúan en un intervalo de 280 a 320 mm.

- 5 12. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la temperatura del gas de producto extraído a través de las tuberías de descarga en el medio asciende a hasta 950 °C, preferentemente se sitúa en un intervalo de 900 a 950 °C, más preferentemente se sitúa en un intervalo de 925 a 950 °C.
- 10 13. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la construcción de acero sirve como esqueleto para un revestimiento refractario del espacio de radiación, en donde el espacio dentro del revestimiento refractario define un espacio de calentamiento para el calentamiento de los tubos de reformador (204).
- 15 14. Horno reformador según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** cada unidad de soporte principal presenta una construcción entramada (209) dispuesta por encima de la unidad de soporte principal y unida por arrastre de fuerza al soporte principal.
- 15. Uso de un horno reformador (200) según una de las reivindicaciones precedentes para el reformado con vapor de un insumo que contiene carbono, en especial de gas natural.

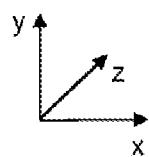
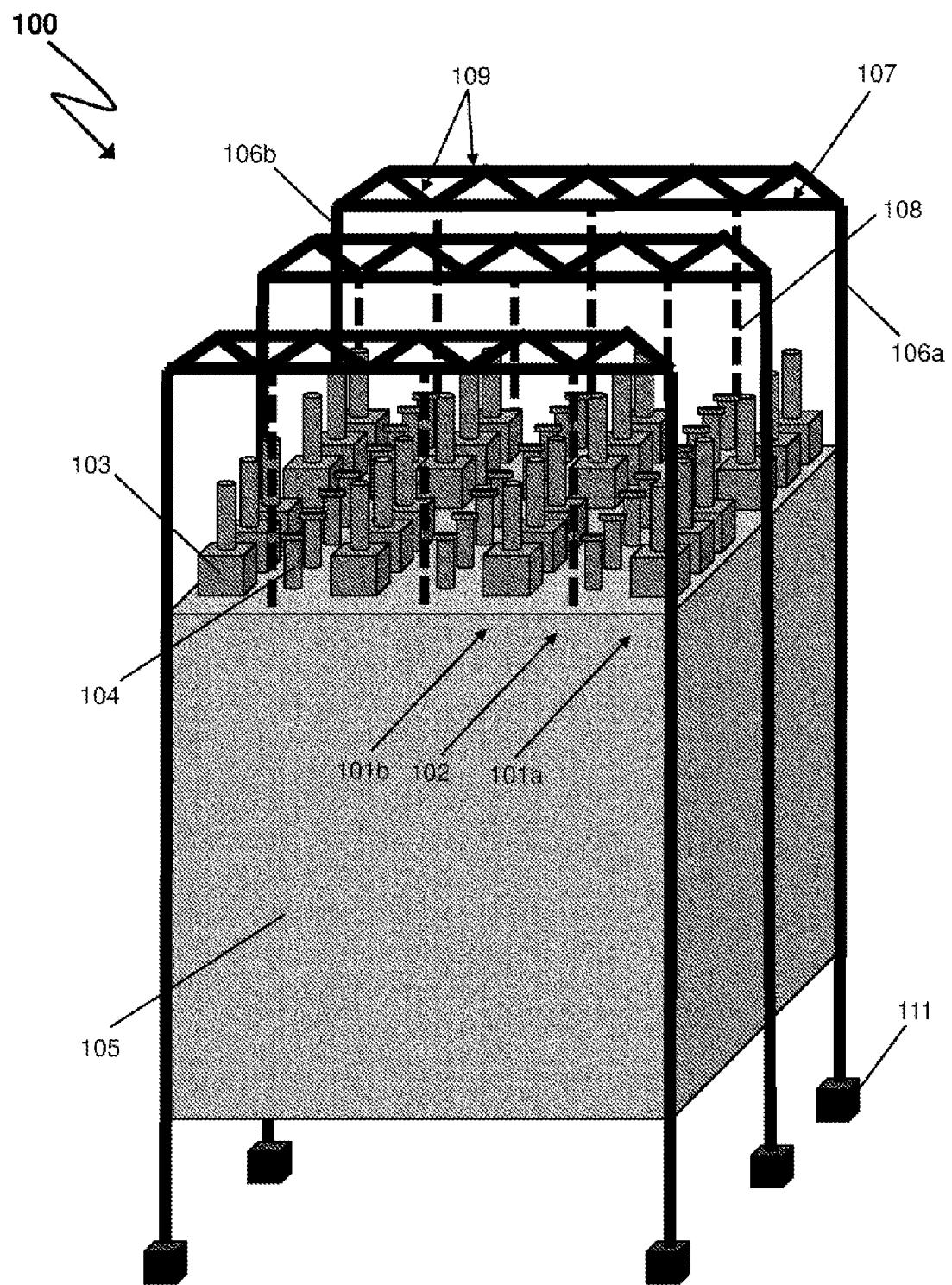
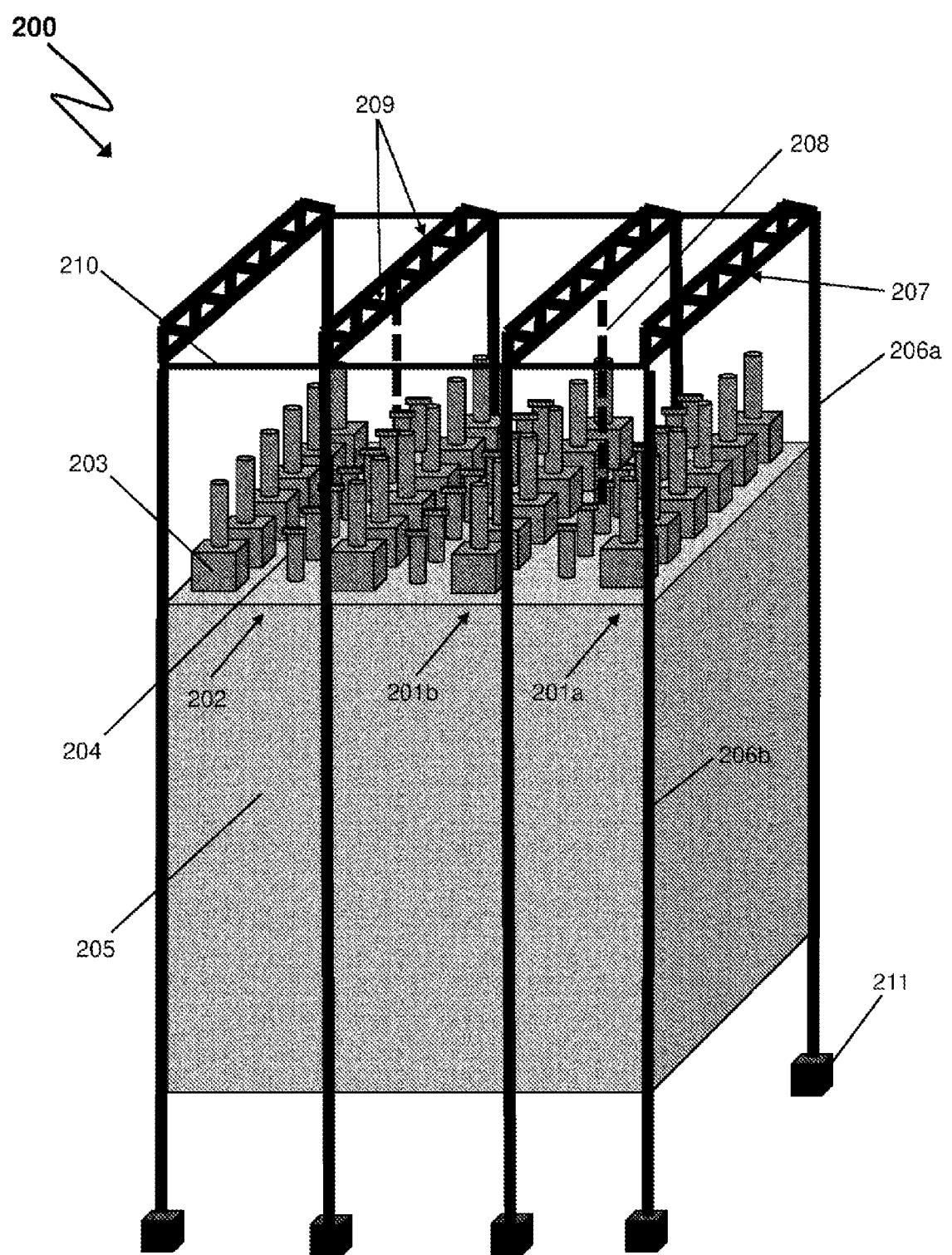


Fig. 1

**Fig. 2**

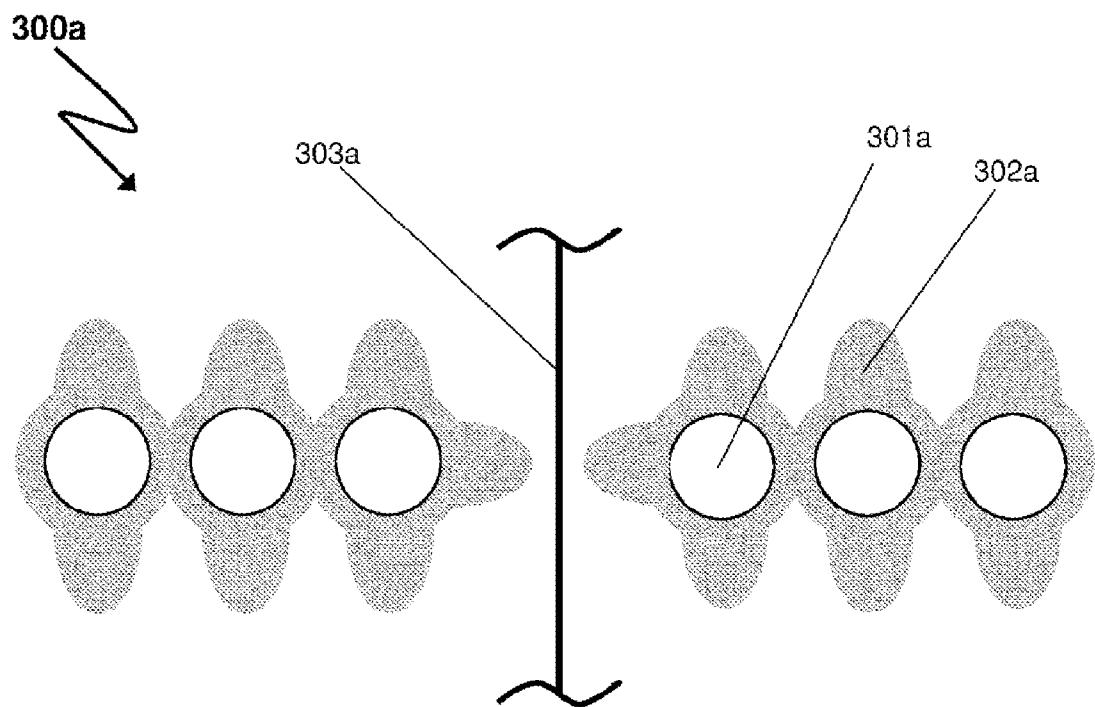


Fig. 3a

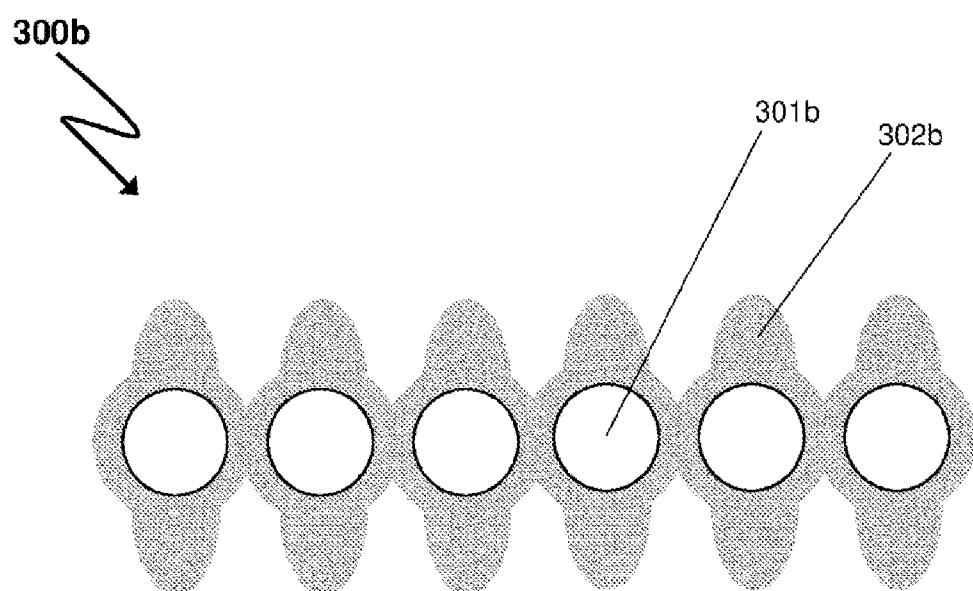


Fig. 3b