

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 960**

51 Int. Cl.:

B01J 8/00 (2006.01)

B01J 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2013 PCT/FR2013/052243**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.04.2014 WO14060671**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2013 E 13782756 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 2908934**

54 Título: **Método que utiliza un sistema neumático de carga densa de catalizador en unos tubos de bayoneta para reactor intercambiador de reformado con vapor con un tubo extraíble de llegada de gas**

30 Prioridad:

17.10.2012 FR 1202772

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

27.12.2017

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4 avenue de Bois-Préau
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**SANZ, ELENA;
BEAUMONT, ROBERT;
BOYER, CHRISTOPHE y
GONNET, DANIEL**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 647 960 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

Método que utiliza un sistema neumático de carga densa de catalizador en unos tubos de bayoneta para reactor intercambiador de reformado con vapor con un tubo extraíble de llegada de gas

5

Campo de la invención

La presente invención se sitúa en el campo de la carga de los tubos catalíticos utilizados en unos reactores tubulares que realizan unas reacciones fuertemente endotérmicas o fuertemente exotérmicas. La presente invención está por tanto particularmente adaptada al reactor de reformado con vapor del gas natural o de diversas fuentes de hidrocarburos con la finalidad de producción de la mezcla $\text{CO}+\text{H}_2$ denominada gas de síntesis.

10

Se pueden distinguir dos grandes familias de reactores de reformado con vapor.

15

Los reactores en los que el calor se aporta por un conjunto de quemadores situados en el interior del reactor, y aquellos en los que el calor se aporta por un fluido caloportador, generalmente unos gases de combustión, teniendo lugar dicha combustión en el exterior del reactor de reformado con vapor en sí.

20

Ciertos reactores de este último tipo que se llama en lo que sigue reactor intercambiador, recurren a unos tubos simples. Otros recurren a unos tubos concéntricos dobles igualmente denominados tubos de bayoneta. Un tubo de bayoneta puede definirse como un tubo interior rodeado por un tubo exterior coaxial con el tubo interno, estando generalmente lleno de catalizador el espacio anular comprendido entre el tubo interior y el tubo exterior. En lo que sigue del texto se hablará de espacio anular o de zona catalítica para designar dicho espacio anular definido por los tubos de bayoneta.

25

En el marco de la presente invención, el gas natural, o más generalmente la carga de hidrocarburo, se introduce por la zona anular según un flujo de arriba abajo, y los efluentes de la reacción se recogen en la parte central del tubo interno según un flujo de abajo arriba.

30

La reacción de reformado con vapor del gas natural para la producción de hidrógeno, es muy endotérmica y tiene por tanto generalmente lugar en unos hornos o unos reactores-intercambiadores en el sentido anteriormente definido.

35

La reacción tiene lugar a unas temperaturas muy elevadas, típicamente $900\text{ }^\circ\text{C}$ y bajo presión, típicamente de 2 a 3 MPa (20 a 30 bar). En estas condiciones, solo puede concebirse una realización de la reacción en el interior de tubos en unas condiciones económicamente viables debido a la resistencia mecánica de los materiales.

40

Los reactores intercambiadores catalíticos están constituidos por tanto por una multitud de tubos, típicamente del orden de 200 a 300 tubos para unas unidades que producen $100.000\text{ Nm}^3/\text{h}$ de hidrógeno, estando encerrado el conjunto de tubos en una calandria que recibe el fluido caliente que permite aportar las calorías necesarias para la reacción de reformado con vapor.

45

Este fluido caliente o fluido caloportador está constituido generalmente por unos gases de una combustión que ha tenido lugar en el exterior del reactor intercambiador.

50

El catalizador debe instalarse por lo tanto en todos los tubos de reformado con vapor de manera regular de un tubo a otro, con el fin de tener una pérdida de carga idéntica de un tubo al otro.

Esta condición es muy importante para garantizar un buen reparto de los reactivos en el conjunto de los tubos catalíticos y evitar que un tubo esté por ejemplo menos alimentado, lo que podría conducir a un sobrecalentamiento importante del material constituyente del tubo, reduciendo este sobrecalentamiento en esa medida la duración de la vida del tubo.

55

Igualmente, es importante que no quede en un tubo ningún espacio vacío, es decir sin catalizador o empobrecido en catalizador, porque de nuevo el tubo podría sobrecalentarse localmente, falto de reacción catalítica en el interior. Además, cualquier heterogeneidad en el reparto del catalizador en la zona de reacción puede traducirse por un flujo desequilibrado del o de los fluidos de reacción.

60

El dispositivo según la invención se dirige por tanto a una carga a la vez densa y homogénea entre cada uno de los tubos de bayoneta que forman parte del reactor intercambiador.

Examen de la técnica anterior

65

Nos limitaremos en este examen al dispositivo de tipo neumático.

La patente FR 2950822 del presente solicitante describe una solución para la carga de tubos de bayoneta con 3 tubos de carga, con frenos mecánicos o frenado neumático. Este método de carga permite una carga densa y uniforme de los tubos de bayoneta. Se trata de un método "grano por grano", se convierte en demasiado lenta y poco adaptada para una realización a escala de un reactor industrial que incluye varios centenares de tubos.

5 La patente EP1374985 describe un sistema de carga con un tubo extraíble para la introducción de un flujo de gas a contracorriente que frena la caída de partículas. Este sistema se aplica a unos tubos clásicos de reformado con vapor de gas natural, pero no tiene en cuenta unas especificidades de los tubos de bayoneta.

10 El dispositivo según la presente invención conduce a una reducción importante del caudal proporcionado por el tubo de llegada de gas auxiliar. El reparto entre un caudal principal dispuesto por el tubo auxiliar, y un caudal fijo que atraviesa el lecho de partículas en formación, conduce a un mejor reparto de las partículas en el seno del lecho, y permite la recuperación de las partículas finas eventualmente formadas en el transcurso del llenado.

15 Ninguno de los documentos encontrados se refiere a la aplicación a los tubos de bayoneta con carga de una zona anular.

El dispositivo objeto de la presente invención puede definirse por tanto como un dispositivo neumático de carga densa de catalizador en la zona anular de los tubos de bayoneta que equipan un reactor intercambiador de reformado con vapor, permitiendo el dispositivo una carga homogénea en densidad en cada uno de los tubos del reactor intercambiador respetando una limitación de tiempo compatible con los imperativos de una puesta en marcha industrial.

20 Además, en un cierto número de casos, el dispositivo según la invención debe poder adaptarse a unas variaciones de diámetro interior del tubo externo, impuestas por las limitaciones mecánicas y térmicas que evolucionan a lo largo del tubo, por tanto a un cambio de las dimensiones de la zona anular. Ningún dispositivo la técnica anterior tiene en cuenta esta limitación suplementaria.

25 Descripción sumaria de las figuras

30 La figura 1 representa el dispositivo utilizado en el método según la invención en el que se pone de manifiesto el tubo extraíble flexible (7) que permite disponer una fracción (11b) del gas necesario en la zona anular (4), así como el sistema de arrollamiento (10) de este último.

35 Descripción sumaria de la invención

La presente invención puede definirse como un método que utiliza un dispositivo de llenado denso del catalizador en un reactor intercambiador de reformado con vapor que consiste en una pluralidad de tubos de bayoneta encerrados en una calandria, incluyendo cada tubo de bayoneta una zona anular (4) al menos parcialmente llena de catalizador.

40 Dicho catalizador está constituido por partículas sólidas que ocupan al menos en parte el espacio anular (4) comprendido entre un tubo interno (5) y un tubo externo (6), constituyendo el conjunto de estos dos tubos el tubo de bayoneta, estando comprendida la anchura de dicho espacio anular entre 30 mm y 80 mm, y estando comprendida su altura entre 10 y 20 metros.

45 Las partículas de catalizador tienen generalmente forma de cilindros de altura aproximada de 10 mm a 20 mm, y de diámetro aproximado de 5 mm a 20 mm.

El dispositivo utilizado consiste en su versión de base en:

- 50
- un tubo flexible extraíble (7) que penetra en el interior de la zona anular (4) y se mantiene a una distancia de la superficie del lecho en formación comprendida entre 50 mm y 100 mm, llevando dicho tubo una fracción (11b) del caudal de gas necesario comprendida entre el 70 % y el 85 %, siendo llevada la fracción complementaria por el tubo interno (5),
 - 55 - dicho tubo extraíble (7) se enrolla alrededor de un carrete (10) situado en el exterior del tubo a llenar, y estando contenidas las partículas del catalizador en:
 - una tolva central (1) que permite suministrar las partículas sobre una cinta transportadora o un transportador vibratorio (2) que alimenta el espacio anular (4), por medio:
 - de un embudo (3), por el que se deslizan las partículas al interior del espacio anular (4).
- 60

El tubo extraíble (7) puede estar equipado en su extremo con un conector cerrado en la sección de salida pero abierto para la salida del gas por una serie de orificios laterales dispuestos sobre una o varias hileras. Típicamente el diámetro de los orificios está comprendido entre 10 y 15 mm y el espacio entre hileras de orificios está comprendido entre 15 y 30 mm, incluyendo cada hilera de 3 a 8 orificios.

65

El interés de estos orificios laterales es evitar la formación de un chorro de gas orientado verticalmente (es decir en el eje del tubo) y que podría perturbar la superficie del lecho de partículas en formación si no se respeta una distancia suficiente entre el extremo del tubo (7) y dicha superficie del lecho.

5 El conector de orificios laterales permite por tanto aproximar inicialmente el tubo (7) a la superficie del lecho, mientras se mantiene una cierta altura de caída de las partículas no frenadas. En efecto, sin conector de orificios laterales, el efecto de frenado de las partículas se produce hasta que alcanza la superficie del lecho. Con un conector de orificios laterales, el gas introducido asciende mucho más rápidamente hacia arriba, prácticamente desde su salida de los orificios laterales, y existe por tanto una parte terminal del trayecto de las partículas en el que no son frenadas.

10 Esta parte terminal no frenada es interesante, porque permite garantizar la densidad de la carga. Y por otro lado está parte terminal no frenada no debe ser demasiado grande para evitar daños a las partículas. Puede controlarse correctamente por tanto mediante la utilización de un conector de orificios laterales que permite un ajuste de dicha altura de caída no frenada.

15 La presente invención consiste así en un método de carga del catalizador que recurre al dispositivo anteriormente descrito, método que puede describirse por la serie de etapas siguientes:

- 20 - el tubo extraíble flexible (7) se enrolla inicialmente en un carrete externo (10), estando llena la tolva (1) de sólido,
- el tubo extraíble flexible (7) se introduce progresivamente en la zona anular (4) por su parte superior hasta que su extremo inferior se sitúa a una distancia comprendida entre 50 cm y 100 cm con respecto al fondo del tubo.
- se introduce un caudal de gas constante por el tubo central (5) correspondiente a una velocidad en el espacio anular (4) comprendida entre 0,1 m/s y la velocidad mínima de fluidificación de los granos del catalizador (entre 3 y 4 m/s para los catalizadores clásicos de reformado con vapor),
- 25 - se introduce otro caudal de gas por el tubo flexible extraíble (7), correspondiendo la suma de los 2 caudales a una velocidad en el espacio anular comprendida entre 8 m/s y 14 m/s, siempre inferior a la velocidad terminal de caída de las partículas,
- la cinta transportadora o el transportador vibratorio (2) se ponen en marcha de manera que proporcione un caudal de sólido comprendido entre 250 kg/h y 500 kg/h, sólido que se introduce en la zona anular (4) por medio del embudo (3),
- 30 - a medida que se llena la zona anular (4), el tubo extraíble flexible (7) se eleva de la zona anular (4) con ayuda del carrete externo (10), de manera que se respete una distancia constante con relación a la superficie del lecho que se constituye progresivamente, estando comprendida siempre dicha distancia entre 50 cm y 100 cm,
- 35 - el tubo extraíble flexible (7) se enrolla con una velocidad equivalente a la velocidad de carga del tubo comprendida entre 0,2 metros/min y 0,4 metros/min,
- una vez cargado el tubo de bayoneta y enrollado el sistema de carga, el tubo extraíble flexible (7) se desplaza para la carga del tubo siguiente.

40 El gas utilizado para la realización del método de carga según la invención es generalmente aire o nitrógeno.

En función de los caudales de partículas sólidas a cargar, se pueden utilizar dos o tres tubos extraíbles flexibles (7) idénticos y funcionando en paralelo. En lo que sigue del texto cuando se habla de un tubo extraíble flexible (7), es necesario entender uno o unos tubos extraíbles flexibles (7).

45 Además una tolva de carga (1) puede alimentar a un grupo de dos o tres tubos de bayoneta, provisto cada uno de un dispositivo según la presente invención.

50 Descripción detallada de la invención

La presente invención puede definirse como un método que utiliza un dispositivo que permite la carga densa de catalizador en el espacio anular (4) de tubos de bayoneta, teniendo cada tubo una altura comprendida entre 10 y 20 m, un diámetro de tubo externo (6) comprendido entre 250 mm y 150 mm, y un diámetro externo del tubo interno (5) comprendido entre 10 y 40 mm.

55 El espacio anular (4) que contiene el catalizador tiene por tanto una anchura característica de aproximadamente 50 mm. En la práctica, según los casos, la anchura característica de espacio anular (4) podrá variar entre 80 y 30 mm.

60 Además, en ciertos casos, el tubo externo (6) tiene un diámetro decreciente de arriba hacia abajo por tramos, lo que significa que la anchura característica del espacio anular (4) disminuye igualmente yendo de arriba abajo.

El dispositivo según la invención permite una adaptación muy fácil a estas variaciones de anchura característica mientras conserva sus rendimientos en el conjunto de los tramos.

65

La adaptación consiste entonces en un ajuste del caudal de gas introducido por el tubo extraíble flexible (7) de manera que se respete la horquilla de velocidad de 8 a 14 m/s.

5 Los granos de catalizador tienen generalmente la forma de cilindros de aproximadamente 10 mm a 20 mm de altura y 5 mm a 20 mm de diámetro.

10 Uno de los principales problemas planteados por su carga en unos tubos de más de 10 metros de longitud es el riesgo de daños a estos granos si se les hace caer simplemente en caída libre sin ninguna precaución, lo que es una de las soluciones de la técnica anterior para realizar una carga densa. Se admite generalmente que el riesgo de daño de estos granos es grande a partir de una altura de caída de 1 metro.

Otros problemas están vinculados a la geometría misma del espacio catalítico anular, que impide el paso de los sistemas de carga clásicos.

15 En un caso frecuente en el contexto de la presente invención, es necesario tener en cuenta el tubo interno (5) que atraviesa el tubo externo (6) en la parte superior de la zona anular (4) para permitir una salida totalmente libre de los efluentes de la reacción.

20 Finalmente, como se ha indicado en la técnica anterior, el riesgo de formación de bóvedas se acentúa cuando la relación entre el diámetro del tubo y la dimensión principal de las partículas es inferior a 8, lo que es frecuentemente el caso en el contexto de la presente invención, puesto que la anchura típica del espacio anular (50 mm) equivale a aproximadamente 4 veces el diámetro característico de las partículas de catalizador.

25 Una limitación importante que debe respetar igualmente el dispositivo de carga, es que la carga se realice tubo por tubo, o por un grupo limitado de dos o tres tubos, debe ser suficientemente rápida para una utilización industrial, porque un reactor de reformado con vapor que se dirige a una producción de aproximadamente 100.000 Nm³/h de H₂ cuenta aproximadamente con de 200 a 350 tubos de bayoneta.

30 La presente invención describe un sistema de carga de un tubo de bayoneta por medio de un flujo de gas, generalmente de aire, a contracorriente de la caída de las partículas, que ralentiza por tanto la caída de dichas partículas evitando así su rotura, y permitiendo una carga homogénea y sin bloqueo.

35 La velocidad terminal de caída de los granos considerados es de aproximadamente 14 m/s. Para evitar la rotura de los granos, las partículas deben caer con una velocidad inferior a 3 m/s y preferentemente inferior a 2 m/s.

40 La velocidad de la corriente de gas debe estar comprendida entre 11 m/s y 13 m/s para obtener una caída ralentizada de las partículas. La obtención de una velocidad así en el espacio anular (4) necesita la introducción de un gran caudal de gas. La introducción de tal caudal por el tubo interno (5) de diámetro típicamente comprendido entre 30 mm y 50 mm puede generar velocidades demasiado grandes en el interior de ese tubo, pudiendo llegar incluso hasta un flujo sónico.

45 En la presente invención, el caudal de gas necesario para la ralentización conveniente de las partículas se obtiene en dos partes; una parte constante del caudal necesario para la ralentización de las partículas se introduce por el tubo interno (5) de la bayoneta, siendo introducida la parte complementaria por un tubo extraíble flexible (7) que desemboca por encima del lecho de partículas en formación a una distancia de entre 50 mm y 100 mm.

50 El flujo en el interior del tubo interno (11a) es tal que genera una velocidad en el espacio anular (4) que es inferior a la velocidad mínima de fluidificación de los granos del catalizador comprendida entre 3 y 4 m/s, con el fin de mantener el lecho de partículas en formación en el estado de lecho fijo, pero llevarse las partículas finas que se han podido generar durante la carga.

55 La parte complementaria del caudal de gas (11b) se introduce por un tubo flexible extraíble (7), cuyo diámetro varía entre 0,5 y 0,9 veces la anchura del espacio anular (del más pequeño de los espacios anulares en el caso de un tubo con cambio de diámetro interno del tubo externo).

60 La velocidad del espacio anular (4) aguas abajo del lecho de partículas según el sentido del flujo de gas, calculada a partir de la suma de los caudales introducidos por los tubos extraíbles (7) e interno (5), debe estar entre 2 m/s y 4 m/s inferior a la velocidad terminal de carga (aproximadamente 13 - 14 m/s para unos granos clásicos de reformado con vapor), de manera que se asegure la ralentización eficaz de las partículas sin provocar una elevación de los granos en el sentido del flujo de gas. El tubo extraíble flexible (7) se eleva a medida que se forma el lecho de partículas en la zona anular (4).

65 La carga se realiza a granel por la abertura superior de la zona anular (4) del tubo de bayoneta, por medio de una tolva de carga (1) y de un transportador vibratorio o de una cinta transportadora (2).

Entre el transportador vibratorio (2) y el tubo de bayoneta se utiliza un acoplamiento flexible (3) para canalizar el catalizador mientras se impide la transmisión de las vibraciones a los tubos. El sistema de carga de sólido (tolva (1), transportador o cinta vibratoria (2) y acoplamiento flexible (3)) debe ser cerrado y estanco, para evitar la salida del gas a través del dispositivo de carga. Debe asegurarse igualmente una estanquidad (8) a la entrada del espacio anular (4).

El flujo de aire a la salida del tubo de bayoneta, cargado de finas partículas, pasa a través de un filtro (9) que permite la retención de los polvos y la expulsión de un gas propio (12). El conjunto de las estanquidades aseguran el paso del gas a través únicamente del sistema de filtrado (9).

Las variaciones de sección de la zona anular (4) son tenidas en cuenta para una variación del caudal de gas introducido por el tubo extraíble flexible (7). El caudal de gas introducido por el tubo interno (5) permanece generalmente constante.

Ejemplo según la invención

Se han realizado unos ensayos de carga con el dispositivo utilizado en el método según la invención en una columna experimental de 1 m de altura, constituida por un tubo interno (5) de 42 mm de diámetro externo y 32,2 mm de diámetro interno, y por un tubo externo (6) de 128,1 mm de diámetro interno.

Las partículas de sólido a cargar tienen la forma de pequeños cilindros de 1,5 cm de altura y de 0,8 cm de diámetro.

El tubo flexible extraíble (7) de 30 mm de diámetro interno se introduce por el espacio anular y se mantiene a una distancia de 50 cm de la superficie del lecho. El dispositivo se eleva continuamente a la velocidad de 0,3 m/min.

Se introduce un caudal de aire de 0,0345 m³/s por el tubo interno (5), lo que corresponde a una velocidad de 42,4 m/s en el interior del tubo interno.

Se introduce un caudal de 0,0897 m³/s por el tubo extraíble (7), lo que corresponde a una velocidad de 127 m/s en el interior del tubo extraíble. En total, un caudal de 0,1242 m³/s atraviesa la fracción vacía del espacio anular (4), generando una velocidad de 10,8 m/s.

Habiendo sido medida la velocidad terminal de caída de las partículas a 13,8 m/s, las partículas caen con una velocidad de 3 m/s.

El caudal introducido por el tubo interno (5) que atraviesa el lecho fijo (0,0345 m³/s) genera una velocidad ascendente en el espacio anular (4) de 3 m/s, inferior a la velocidad mínima de fluidificación (estimada en 3,76 m/s), pero suficiente para arrastrar las finas partículas.

Una vez cargado el lecho, se realiza la medición del ΔP con un caudal de aire de 130 Nm³/h.

Después de la descarga, las partículas rotas se aíslan del lote. La tasa de rotura es muy reducida, del orden del 0,5 %.

Los resultados de la carga se muestran en la tabla 1 a continuación.

La carga obtenida con este sistema es muy satisfactoria, con una buena reproducibilidad en términos de pérdida de carga (desviaciones de la media inferiores a ± 3 %).

El tiempo de carga se sitúa entre 3 y 4 minutos/metro, lo que corresponde a un tiempo máximo de 48 minutos para un tubo de 12 m (para un caudal de sólido de aproximadamente 320 kg/h).

La densidad de carga es de 968 kg/m³, reproducible en todas las cargas.

Tabla 1: resultados de las cargas con sistema de neumático sobre maqueta de 1 m.

Tiempos de carga (min)	Tiempos de descarga (min)	Altura de sólido (cm)	Densidad de carga (kg/m ³)	Pérdida de carga (mm H ₂ O)	Desviación de la media	Tasa de rotura
3'31"	10'	98	968	270	0,37 %	0,51 %
3'20"	9'	98	968	262	-2,6 %	0,53 %
3'90"	10'	98	968	277	+2,97 %	0,55 %
				Media de la pérdida de carga	269	

REIVINDICACIONES

1. Método de carga de partículas de catalizador especialmente adaptado para un reactor intercambiador de reformado con vapor que consiste en una pluralidad de tubos de bayoneta encerrados en una calandria, estando constituido el lecho catalítico por partículas que ocupan al menos en parte el espacio anular (4) comprendido entre un tubo interno (5) y un tubo externo (6), constituyendo el conjunto de estos dos tubos un tubo de bayoneta, estando comprendida la anchura de dicho espacio anular (4) entre 40 mm y 80 mm, y estando comprendida su altura entre 10 y 20 metros, teniendo dichas partículas de catalizador la forma de cilindros de altura aproximada comprendida entre 10 mm y 20 mm, y de diámetro aproximadamente comprendido entre 5 mm y 20 mm, utilizando dicho método de carga un dispositivo de llenado denso del catalizador que consiste en:

- un tubo flexible extraíble (7) que penetra en el interior de la zona anular (4) y se mantiene a una distancia de la superficie del lecho en formación comprendida entre 150 mm y 200 mm, llevando dicho tubo la fracción principal del caudal de gas necesario comprendida entre el 70 % y el 85 %, siendo llevada la fracción complementaria por el tubo interno (5), estando comprendido el diámetro de dicho tubo extraíble flexible (7) entre 0,5 y 0,9 veces la anchura del espacio anular (4) (el más pequeño de los espacios anulares (4) en el caso de un tubo externo (6) con un cambio de diámetro),
- dicho tubo extraíble (7) se enrolla alrededor de un carrete (10) situado en el exterior del tubo a llenar, y estando contenidas las partículas del catalizador en:
 - una tolva central (1) que permite suministrar las partículas sobre una cinta transportadora o un transportador vibratorio (2) que alimenta el espacio anular (4), por medio:
 - de un embudo (3), por el que se deslizan las partículas al interior del espacio anular (4), y estando dicho método de carga densa caracterizado por la serie de etapas siguientes:
 - el tubo extraíble flexible (7) se enrolla inicialmente en un carrete externo (10), estando llena la tolva (1) de sólido,
 - el tubo extraíble flexible (7) se introduce progresivamente en la zona anular (4) por su parte superior hasta que su extremo inferior se sitúa a una distancia comprendida entre 50 cm y 100 cm con respecto al fondo del tubo.
 - se introduce un caudal de gas constante por el tubo central (5) correspondiente a una velocidad en el espacio anular comprendida entre 0,1 m/s y la velocidad mínima de fluidificación de los granos del catalizador (entre 3 y 4 m/s para los catalizadores clásicos de reformado con vapor), y se introduce otro caudal de gas por el tubo extraíble (7), correspondiendo la suma de los 2 caudales a una velocidad en el espacio anular comprendida entre 8 m/s y 14 m/s, siempre inferior a la velocidad terminal de caída de las partículas,
 - la cinta transportadora o el transportador vibratorio (2) se ponen en marcha de manera que proporcione un caudal de sólido comprendido entre 250 kg/h y 500 kg/h, sólido que se introduce en la zona anular (4) por medio del embudo (3),
 - a medida que se llena la zona anular (4), el tubo extraíble flexible (7) se eleva de la zona anular (4) con ayuda del carrete externo (10), de manera que se respete una distancia constante con relación a la superficie del lecho que se constituye progresivamente, estando comprendida siempre dicha distancia entre 50 cm y 100 cm,
 - el tubo extraíble flexible (7) se enrolla con una velocidad equivalente a la velocidad de carga del tubo comprendida entre 0,2 metros/min y 0,4 metros/min,
 - una vez cargado el tubo de bayoneta y enrollado el sistema de carga, el tubo extraíble flexible (7) se desplaza para la carga del tubo siguiente.

2. Método de carga del catalizador según la reivindicación 1, en el que el gas utilizado es aire o nitrógeno.

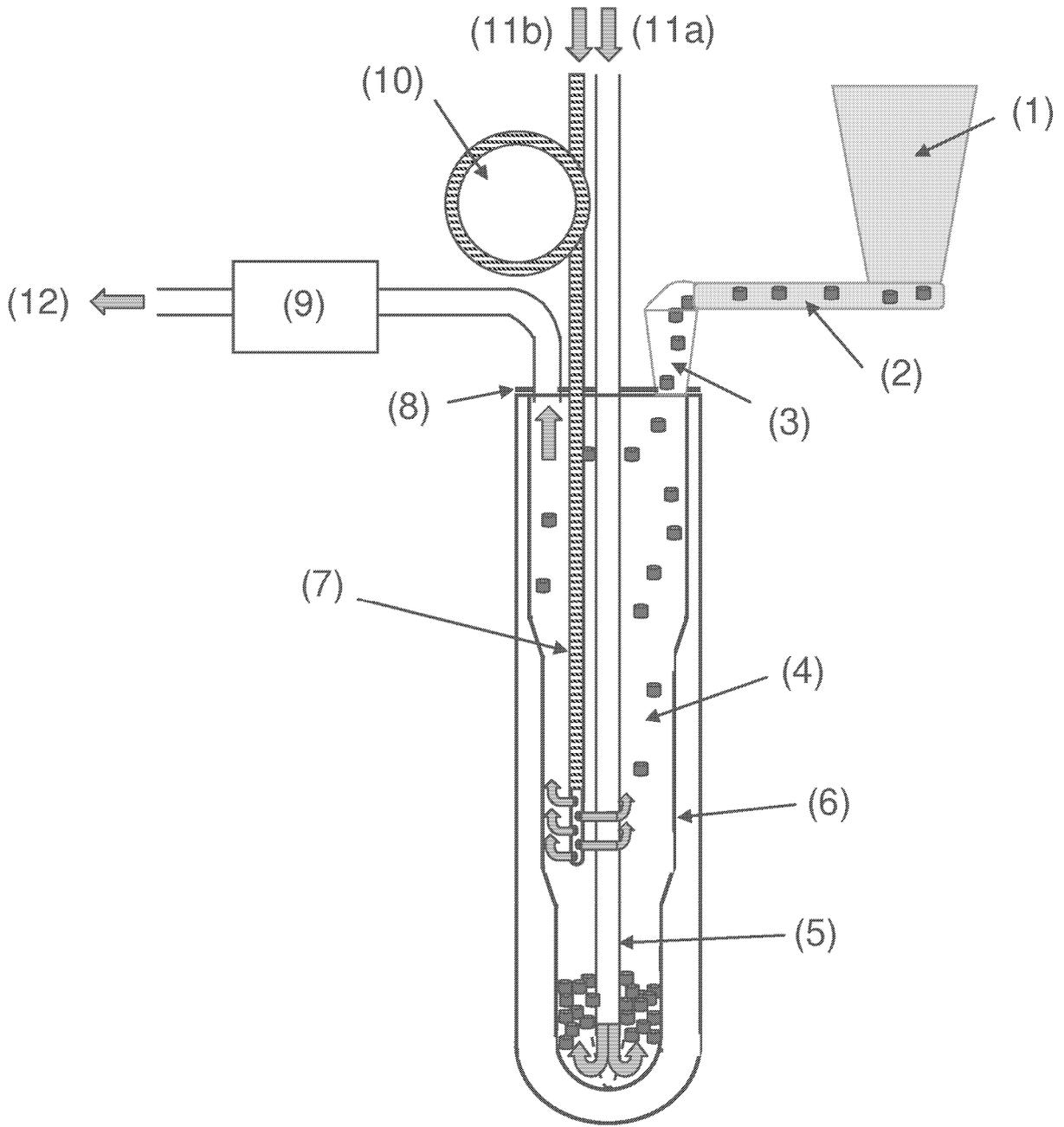


Fig 1

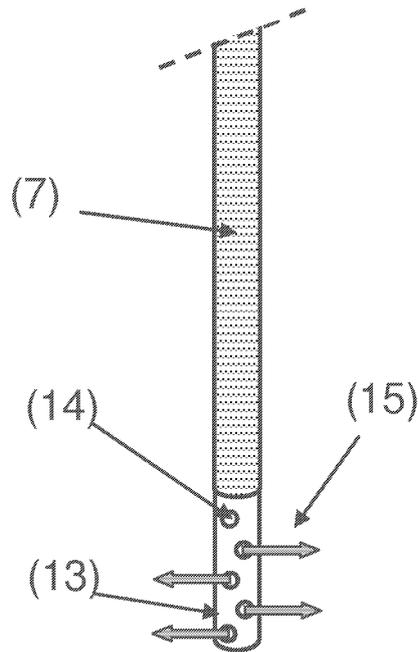


Fig 2

Ejemplo:

Caudal total de aire: 250 m³/h, repartidos en

- dos tubos inox. de DE 38 × 1,25 mm, DI 35,5 mm (2 × 100 m³/h)
- tubo de syngas (50 m³/h)

Número de orificios: por tubo: 20 orificios para 100 m³/h

Diámetro de los orificios: 10 mm

Velocidad de los chorros: 17,68 m/s en los orificios de 10 mm

(en lugar de 28 m/s en el DI de 35,5, en la primera configuración de tubo simple, chorro de aire dirigido hacia abajo, que levantaba los granos)