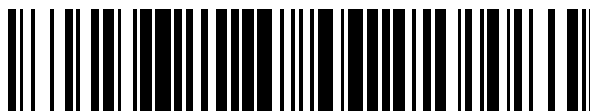


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 815**

51 Int. Cl.:

B01J 8/00 (2006.01)

B01J 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **10290499 .2**

96 Fecha de presentación: **21.09.2010**

97 Número de publicación de la solicitud: **2314371**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.04.2011**

54 Título: **Dispositivo de carga de tubos con partículas de catalizador**

30 Prioridad:
01.10.2009 FR 0904683

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.10.2012

73 Titular/es:
**IFP Energies Nouvelles
1 & 4, Avenue de Bois-Préau
92852 Rueil-Malmaison Cedex, FR**

72 Inventor/es:
**Sanz, Elena;
Beaumont, Robert;
Colin, Jérôme y
Giroudiere, Fabrice**

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

ES 2 388 815 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

Dispositivo de carga de tubos con partículas de catalizador.

Campo de la invención

5 La presente invención se sitúa en el campo de los dispositivos que permiten la carga de catalizador presentado en forma de partículas sólidas dentro de reactores multitubulares.

La particularidad del medio de carga al que se refiere la presente invención es que está constituido por la zona anular comprendida entre un tubo exterior y un tubo interior.

10 De manera habitual a este tipo de tubo se le llama tubo "de bayoneta". El catalizador mismo está formado por partículas con una forma generalmente cilíndrica, con un diámetro de entre 1 y 2 cm aproximadamente, y con una longitud comprendida entre 0,5 cm y 2 cm.

La presente invención no está ligada a ninguna reacción química particular, sino que se refiere de manera más general a cualquier reactor que utilice la tecnología de los tubos denominados tubo de bayoneta.

15 A título de ejemplo, los reactores a los que se refiere la presente invención son unos reactores de reformado con vapor de gas natural para la producción de gas de síntesis de gran capacidad (tradicionalmente 100.000 Nm³/h). Estos reactores están formados de manera clásica por un conjunto de entre 200 y 300 tubos aproximadamente de 15 metros de altura encerrados dentro de una virola que puede alcanzar los 15 metros de diámetro.

El problema principal que se encuentra en el proceso de carga de estos reactores multitubulares es el de la homogeneidad de la densidad de carga entre los diferentes tubos catalíticos.

20 En efecto, cualquier heterogeneidad en el proceso de carga se va a traducir en una diferencia de densidad de carga que puede conducir a unos pasos preferentes de un tubo a otro, e incluso en el interior de un mismo tubo. Es esencial que el método de carga elegido garantice una buena homogeneidad de densidad entre los diferentes tubos catalíticos.

El método de carga asociado al dispositivo también debe poder repetirse y ser lo suficientemente rápido como para que el tiempo de carga se mantenga dentro de unos límites razonables.

25 Antecedentes de la invención

La técnica anterior en el campo del proceso de carga de los reactores catalíticos está representada por dos grandes tipos de procesos de carga denominados "por aspersión" y carga "con manga". El primero de estos procesos de carga consiste en distribuir las partículas de catalizador en el interior del reactor por medio de la puesta en rotación de dichas partículas y en dejarlas caer imitando las gotas de lluvia.

30 Este método conduce a una carga densa y homogénea, pero necesita un equipo rotativo que permita distribuir el catalizador de acuerdo con varios radios de tal modo que se cubra correctamente toda la sección catalítica.

35 El otro método denominado "con manga" consiste en introducir las partículas de catalizador dentro del reactor a través de una manga flexible que se va levantando progresivamente hacia arriba a medida que el nivel de las partículas de catalizador vertidas aumenta dentro del reactor. Este método conduce a una carga menos densa que la denominada "por aspersión", pero utiliza un equipo más sencillo.

Las siguientes referencias describen de manera más precisa algunos otros métodos de carga que se utilizan para los reactores industriales:

- UNIDENSE Catalyst Loading for Steam Reformers (que se puede traducir por método de carga UNIDENSE para reactor de reformado con vapor) publicado en 2008 en el folleto comercial de Johnson Matthey.
- 40 ○ Damand, M. B.; Erikstrup, N. H. B.; Marcher, J.; Nielsen, H. C. L. T. y Kelling, D. Carga de reactores de reformado con vapor mediante el método denominado "Spiralload Method", en Ammonia Technical Manual, 2003, artículo de Haldor Topsoe.
- "Spiralload Technology", 2008, en el folleto comercial de Haldor Topsoe.

45 Los métodos de la técnica anterior no permiten tratar de manera satisfactoria el problema de la carga del catalizador en el interior de tubos que presentan una zona anular delimitada entre un tubo externo y un tubo interno, un tipo de tubos denominado por el experto en la materia tubo de bayoneta.

50 En efecto, el espacio disponible en la zona anular de un tubo de bayoneta es de forma clásica del orden de 50 mm, es decir alrededor de la mitad del de un tubo simple con un diámetro de 100 mm. Además, la necesidad de mantener la constancia del espacio anular, es decir, una buena concentricidad entre el tubo interno y el tubo externo, obliga a instalar entre el tubo externo y el tubo interno unos elementos denominados dispositivos de centrado, que están

5 formados, por ejemplo, por unas pestañas solidarias con uno de los tubos o también unos tirantes que unen las paredes de los tubos interno y externo. Por lo general estos dispositivos de centrado están presentes en un número de entre 2 y 6, y de manera preferente son un total de 3, en una sección dada. En un tubo de bayoneta con una longitud de 15 m, puede ser necesario distribuir estos dispositivos de centrado en 4 o 5 niveles escalonados de forma regular a lo largo del tubo.

En el texto que sigue, se hablará de sector angular para designar la porción de espacio comprendida entre dos dispositivos de centrado consecutivos.

Las condiciones del proceso de carga de partículas de catalizador dentro de un tubo de bayoneta provisto de unos dispositivos de centrado se pueden resumir de la manera siguiente:

- 10
- evitar la fractura de las partículas a causa de una altura de caída demasiado grande (de forma habitual superior a 5 m);
 - evitar el atascamiento de las partículas en el interior del tubo de carga;
 - evitar una salida en grupo de partículas del tubo de carga, ya que la experiencia demuestra que cuando un grupo de partículas sale del tubo de forma simultánea, existe un riesgo alto de formación de bóvedas.

15 De este conjunto de condiciones se deriva que el método de acuerdo con la presente invención es un método que utiliza un sistema de carga "grano a grano" y que precisa una selección rigurosa del diámetro del tubo de carga con respecto a las dimensiones de las partículas de catalizador. Si se llama d_{max} a la medida más grande de una partícula o grano de catalizador y d_{min} a la medida más pequeña de dicha partícula, se ha demostrado que para evitar los fenómenos de atascamiento y de salida en grupo de las partículas, garantizando al mismo tiempo un flujo grano a grano en el interior del tubo de carga, conviene respetar las siguientes condiciones entre el diámetro del tubo de carga D_t y las medidas d_{max} y d_{min} de la partícula:

20

D_t deber ser a la vez superior a 1,1 veces d_{max} e inferior a 2 veces d_{min} .

Breve descripción de las figuras

25 La figura 1 es una vista esquemática del dispositivo de acuerdo con la presente invención en el cual se encuentran agrupadas sus principales características.

La figura 2 es una vista desde arriba que permite visualizar los sectores angulares y la posición en cada sector del tubo de carga.

30 La figura 3 es una vista esquemática del dispositivo de acuerdo con la presente invención equipado, de manera opcional, con un sistema de extracción de partículas finas y de frenado de las partículas de catalizador mediante una contracorriente gaseosa.

Breve descripción de la invención

La presente invención se puede definir como un dispositivo de carga de partículas de catalizador en el espacio anular de un tubo de tipo bayoneta. Un tubo de bayoneta se define de forma habitual como formado por un tubo externo con un diámetro D_{ext} y por un tubo interno, concéntrico al tubo externo, con un diámetro D_{int} . El espacio anular comprendido entre el tubo externo y el tubo interno constituye la zona anular catalítica que hay que rellenar con partículas de catalizador.

35

Estos tubos de bayoneta se utilizan de forma habitual en los reactores de reformado con vapor de diferentes cargas de hidrocarburos, en particular el gas natural, y se presentan entonces en forma de una multitud de entre 200 y 300 tubos encerrados dentro de una virola que puede alcanzar los 15 metros de diámetro.

40 Por supuesto, el dispositivo que se describe en la presente invención se puede duplicar tantas veces como se desee para garantizar la carga simultánea de varios tubos de bayoneta.

La presente invención no está ligada a ninguna forma particular de las partículas de catalizador.

En concreto, las partículas de catalizador pueden tener la forma de pequeños cilindros (7) eventualmente atravesados por pequeños canales para aumentar la superficie específica de dichas partículas.

45 Únicamente es necesario distinguir en la partícula de catalizador la medida más grande indicada como d_{max} , y la medida más pequeña indicada como d_{min} . En efecto, la invención se basa en un dimensionamiento riguroso de los tubos de carga por los cuales las partículas de catalizador se introducen en cada uno de los sectores de la zona anular.

El diámetro de los tubos de carga debe ser apenas superior a la medida más grande (d_{max}) de las partículas de catalizador, manteniéndose inferior a 2 veces la medida más pequeña (d_{min}) de dichas partículas. Se entiende por apenas superior un valor de 1,1 veces la medida d_{max} .

5 Para garantizar la buena concentricidad de los tubos interno y externo, unos elementos denominados "dispositivos de centrado" unen la pared interna del tubo externo y la pared externa del tubo interno.

Estos dispositivos de centrado están presentes en un número comprendido entre 2 y 6 por sección, y de forma preferente son un total de 3 por sección del tubo reactivo.

Estos dispositivos de centrado se distribuyen a lo largo del tubo de bayoneta y contribuyen también a su rigidez, que es un aspecto importante del buen funcionamiento del reactor.

10 El dispositivo de carga de acuerdo con la presente invención permite, por lo tanto, la carga de partículas de catalizador en la zona anular de un tubo de bayoneta cuya sección anular está dividida en N sectores angulares por unos elementos denominados dispositivos de centrado, dicho dispositivo comprendiendo:

- una tolva de carga de las partículas de catalizador, situada en el exterior de la multitud de tubos;
- un conjunto de N canales vibrantes unidos a la parte inferior de la tolva y a N tubos de carga, cada tubo de carga alimentando un sector angular y con un diámetro D_t superior a 1,1 veces la medida más grande de las partículas de catalizador d_{max} , e inferior a 2 veces la medida más pequeña de las partículas de catalizador d_{min} , la longitud (L_t) de un tubo de carga siendo, al principio, prácticamente igual a la longitud del tubo de bayoneta (L_b);
- un conjunto de N elementos de unión flexibles que unen cada canal vibrante con un tubo de carga permitiendo un cambio de dirección adecuado.

Se entiende por "longitud (L_t) del tubo de carga prácticamente igual a la del tubo de bayoneta (L_b)", el hecho de que L_t es inferior a L_b en menos de 1 metro, y de manera preferente en menos de 0,5 metros.

De manera general, el número de sectores angulares está comprendido entre 3 y 6, y de manera preferente es de 3.

25 En una variante de la presente invención, el dispositivo se puede complementar con un sistema de extracción de las partículas finas.

30 En otra variante de la presente invención, el dispositivo se puede complementar con un sistema de frenado de las partículas destinado a limitar su velocidad durante su descenso por el tubo de carga, por lo general dispuesto en posición vertical o prácticamente vertical. Este sistema de frenado de las partículas de catalizador puede consistir en unos elementos cilíndricos dispuestos perpendicularmente al eje de dicho tubo de carga y fijados a la pared de dicho tubo con una distancia vertical de 1 metro con una diferencia de más o menos 10 cm.

Se entiende por "prácticamente en posición vertical" la posibilidad de que el tubo de bayoneta (y, por lo tanto, el tubo de carga asociado) forme un ángulo de más o menos 30° con respecto a la vertical.

35 El dispositivo de carga de acuerdo con la invención permite realizar unas cargas homogéneas en densidad en toda la longitud de los tubos de bayoneta así como entre los diferentes tubos de bayoneta que constituyen la zona catalítica del reactor.

La invención también se refiere al método de aplicación del dispositivo que se describe en el siguiente párrafo.

Descripción detallada de la invención

40 El dispositivo de carga de partículas de catalizador en la zona anular de un tubo de bayoneta comprende los elementos siguientes que se describen en el orden de progresión de las partículas de catalizador. Los números se refieren a las figuras 1 y 2.

- una tolva de carga (1) que puede ser de cualquier tipo conocido por el experto en la materia;
- un conjunto de N canales vibrantes (2), un extremo de los cuales se introduce en la zona inferior de la tolva de carga (1), y el otro extremo se comunica mediante unos elementos de unión flexible (3) con cada tubo de carga (4);
- un conjunto de N tubos de carga (4) que se introducen en el interior de cada sector angular, el diámetro D_t de un tubo de carga cumpliendo con las dos condiciones a) superior a 1,1 veces la medida más grande d_{max} de las partículas que hay que cargar y b) inferior a 2 veces la más pequeña medida d_{min} de las partículas que hay que cargar.

50 Este conjunto se puede complementar con un sistema de extracción de las partículas finas de catalizador (10, 12 en la figura 3).

5 Para ralentizar la caída de las partículas de catalizador en el interior del tubo de carga, por lo general dispuesto de forma vertical, puede ser necesario prever un sistema de frenado de dichas partículas. A título de ejemplo se pueden utilizar como sistema de frenado unos elementos cilíndricos de un material flexible (una especie de "pestañas") dispuestos perpendicularmente al eje de dicho tubo de carga, indicado como (9) en la figura 1, y fijados a la pared de dicho tubo con una distancia vertical de 1 metro aproximadamente, distancia variable en función de la fragilidad del catalizador que hay que cargar.

Otro ejemplo de sistema de frenado es la utilización de una corriente de aire ascendente creada mediante aspiración (11), (12) o insuflación de aire (indicada como (13), (14) en la figura 3).

10 Sea cual sea el medio de circulación de aire utilizado, un dispositivo de filtración (10) permite retener las partículas finas de catalizador que pueden verse arrastradas. Se entiende por partículas finas de catalizador los fragmentos de partículas resultantes de la friabilidad y que tienen una medida inferior a 1 mm.

Por supuesto, se puede considerar cualquier otro sistema que permita ralentizar la caída de las partículas y se mantenga dentro del marco de la presente invención.

15 Después de la carga de los tubos de bayoneta, la calidad de la carga se verifica mediante la medición de la pérdida de carga (ΔP) del lecho catalítico que llena la zona anular, es decir entre la entrada del tubo de bayoneta en el lado del catalizador (extremo superior del espacio anular) y la salida del tubo de bayoneta (extremo superior del tubo interior).

20 La medición de ΔP se realiza haciendo que un flujo de aire pase a través del tubo cargado con catalizador. Una buena carga corresponde a una desviación de ΔP entre 2 tubos inferior a $\pm 5\%$ con respecto a la media, lo que garantiza una distribución homogénea de las partículas de catalizador entre los diferentes tubos.

El método de carga de un tubo de bayoneta consiste en la sucesión de las siguientes etapas:

- Carga del catalizador en la tolva de carga;
- Paso de los granos por los N canales vibrantes;
- Carga "grano a grano" en los N tubos de carga;
- 25 - Acortamiento de los tubos de carga cuando la altura de la capa de partículas cargadas se aproxima al extremo inferior del tubo de carga a una distancia inferior a 1 metro y de manera preferente inferior a 0,5 metros;
- Verificación de la calidad del proceso de carga mediante la medición de pérdida de carga haciendo circular aire por el lecho catalítico que llena la zona anular, la medición de ΔP realizándose entre el extremo superior del espacio anular llenado con catalizador y el extremo superior del tubo interior, prácticamente al mismo nivel.

30 **Ejemplo de acuerdo con la invención**

35 Se considera un reactor de reformado con vapor destinado a la producción de 100.000 Nm³/hora de gas de síntesis, compuesto por una pluralidad de tubos de bayoneta, cada tubo de bayoneta estando formado por un tubo interno y por un tubo externo concéntricos. Hay 3 dispositivos de centrado por sección del tubo, los diferentes dispositivos de centrado encontrándose alineados a lo largo del tubo de bayoneta y delimitando, de este modo, 3 sectores angulares.

- Diámetro interno del tubo externo (5): $D_{ext} = 150$ mm.
- Diámetro externo del tubo interno (6): $D_{int} = 50$ mm.
- Medida del espacio anular: $e = 50$ mm.
- Longitud del tubo de bayoneta: $L_b = 12$ m.
- 40 - Diámetro del reactor: 10 metros.
- Número de sectores angulares: $N = 3$.
- Número de tubos de bayoneta: 280.

Las medidas de las partículas de catalizador con forma cilíndrica son:

- $d_{min} = 9$ mm.
- 45 - $d_{max} = 16$ mm.

El dispositivo de carga está formado por:

ES 2 388 815 T3

- Tolva de carga.
 - Número de canales vibrantes: $N = 3$.
 - Número de tubos de carga: $N = 3$.
 - Diámetro de los tubos de carga: $Dt = 18 \text{ mm}$.
- 5 - Longitud inicial del tubo de carga: $Lt = 11 \text{ m}$.
- Dispositivo de frenado mediante cilindros de silicona, dispuestos cada 50 cm.

Cada tubo de carga está compuesto por un ensamblado de 11 tramos de 1 metro.

- 10 Cuando aumenta la altura del lecho catalítico en la zona anular, los tramos se retiran de forma progresiva de tal modo que se acorte la longitud total del tubo de carga y se mantenga de este modo una altura de caída de las partículas inferior a 1 metro.

La altura de caída se evalúa como la distancia que separa el extremo superior de la capa de partículas ya cargadas en la zona anular y el extremo de salida del tubo de carga.

- 15 Se han realizado cuatro cargas indicadas como 1, 2, 3 y 4 con el dispositivo objeto de la invención. Los resultados en términos de densidad del lecho catalizador (kg/m^3) y de pérdida de carga (ΔP en mbar, esto es $10^{-3} \text{ bar} = 10^2$ Pascales) son los siguientes:

Carga	1	2	3	4
Masa de los granos cargados (kg)	189	187	187	183
Altura de la carga (mm)	11.850	11.850	11.850	1.850
Volumen de la carga (litros)	186	186	186	186
Densidad del lecho (kg/m^3)	1.017	1.003	1.003	981
Caudal de aire (m^3/h)	70	70	70	70
ΔP (mbar)	183,2	177,7	180,3	171,2
Desviación del ΔP de la media / ΔP media	+2,86 %	-0,21 %	+1,22 %	-3,87 %

El tiempo de carga para un tubo es de alrededor de una media hora.

El tiempo total de carga para el conjunto de los 280 tubos es de 35 horas realizando un agrupamiento de los tubos de bayoneta por grupos de 70. Cuatro dispositivos de carga son 5 utilizados en paralelo.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo que permite la carga de partículas de catalizador en la zona anular de un tubo de bayoneta con un diámetro externo D_{ext} y con un diámetro interno D_{int} cuya sección anular está dividida en N sectores angulares mediante unos elementos denominados dispositivos de centrado que comprende:

- 5 - una tolva de carga de las partículas de catalizador;
- un conjunto de N canales vibrantes unidos a la parte inferior de la tolva y a N tubos de carga, cada tubo de carga alimentando un sector angular y con un diámetro D_t superior a 1,1 veces la medida más grande de las partículas de catalizador d_{max} , e inferior a 2 veces la medida más pequeña de las partículas de catalizador d_{min} , la longitud L_t de un tubo de carga siendo, al principio, prácticamente igual a la longitud del tubo de bayoneta;
- 10 - un conjunto de N elementos de unión flexibles que unen cada canal vibrante con un tubo de carga permitiendo un cambio de dirección adecuado.

2. Dispositivo de carga de partículas de catalizador en la zona anular de un tubo de bayoneta de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el número N de sectores angulares y el número N de tubos de carga es de 3.

- 15 3. Dispositivo de carga de partículas de catalizador en la zona anular de un tubo de bayoneta de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual los tubos de carga están provistos de unos sistemas de frenado de las partículas que consisten en unos elementos cilíndricos dispuestos perpendicularmente al eje de dicho tubo de carga y fijados a la pared de dicho tubo con una distancia vertical de 1 metro con una diferencia de más o menos 10 cm.

- 20 4. Dispositivo de carga de partículas de catalizador en la zona anular de un tubo de bayoneta de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el dispositivo se complementa con un sistema de extracción de partículas finas (10), (12).

5. Método de carga de partículas de catalizador en la zona anular de un tubo de bayoneta que utiliza el dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende la sucesión de las siguientes etapas:

- Carga del catalizador en la tolva de carga ;
- Paso de los granos por los N canales vibrantes;
- 25 - Carga grano a grano en los N tubos de carga;
- Acortamiento de los tubos de carga cuando la altura de la capa de partículas cargadas se aproxima al extremo inferior del tubo de carga a una distancia inferior a 1 metro y de manera preferente inferior a 0,5 metros;
- Verificación de la calidad del proceso de carga mediante la medición de pérdida de carga haciendo circular aire por el lecho catalítico que llena la zona anular, la medición de ΔP realizándose entre el extremo superior del espacio anular llenado con catalizador y el extremo superior del tubo interior, prácticamente al mismo nivel.
- 30

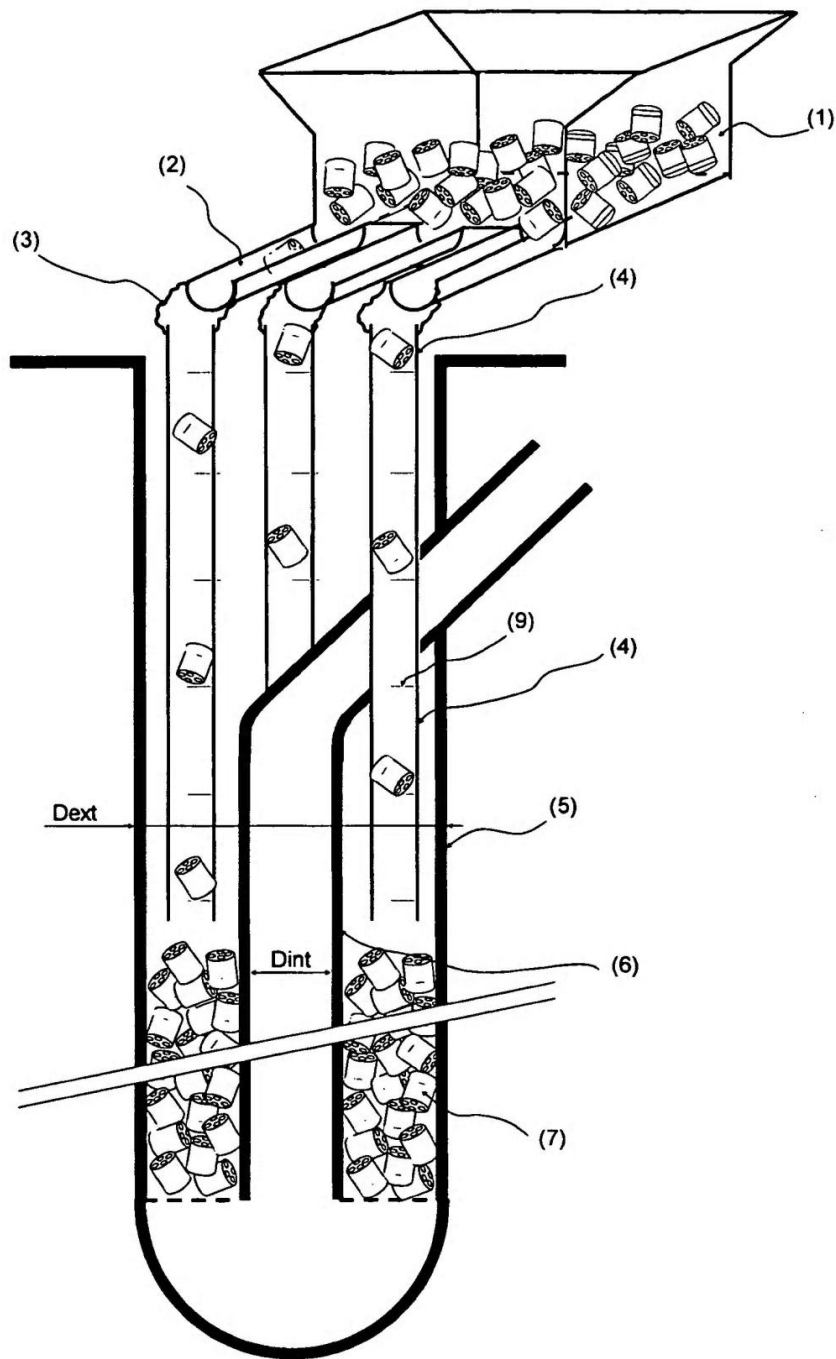


Figura 1

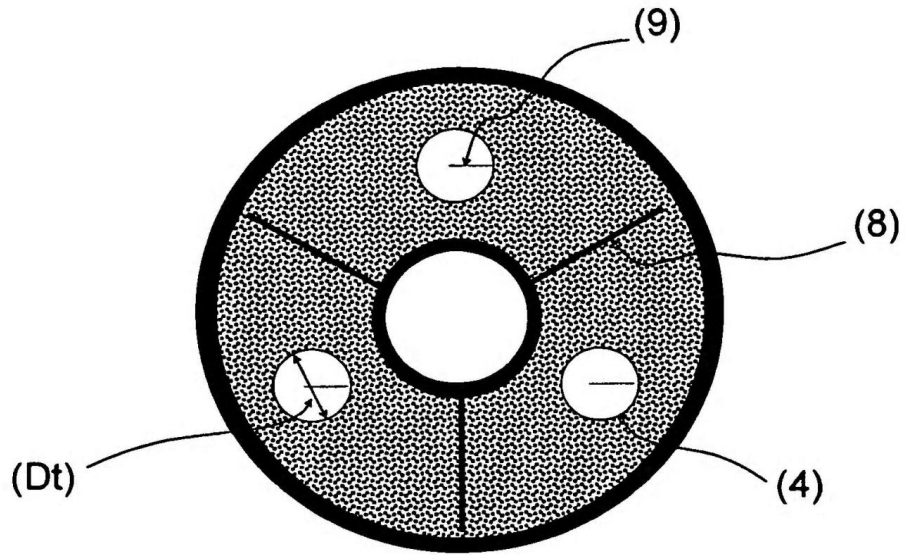


Figura 2

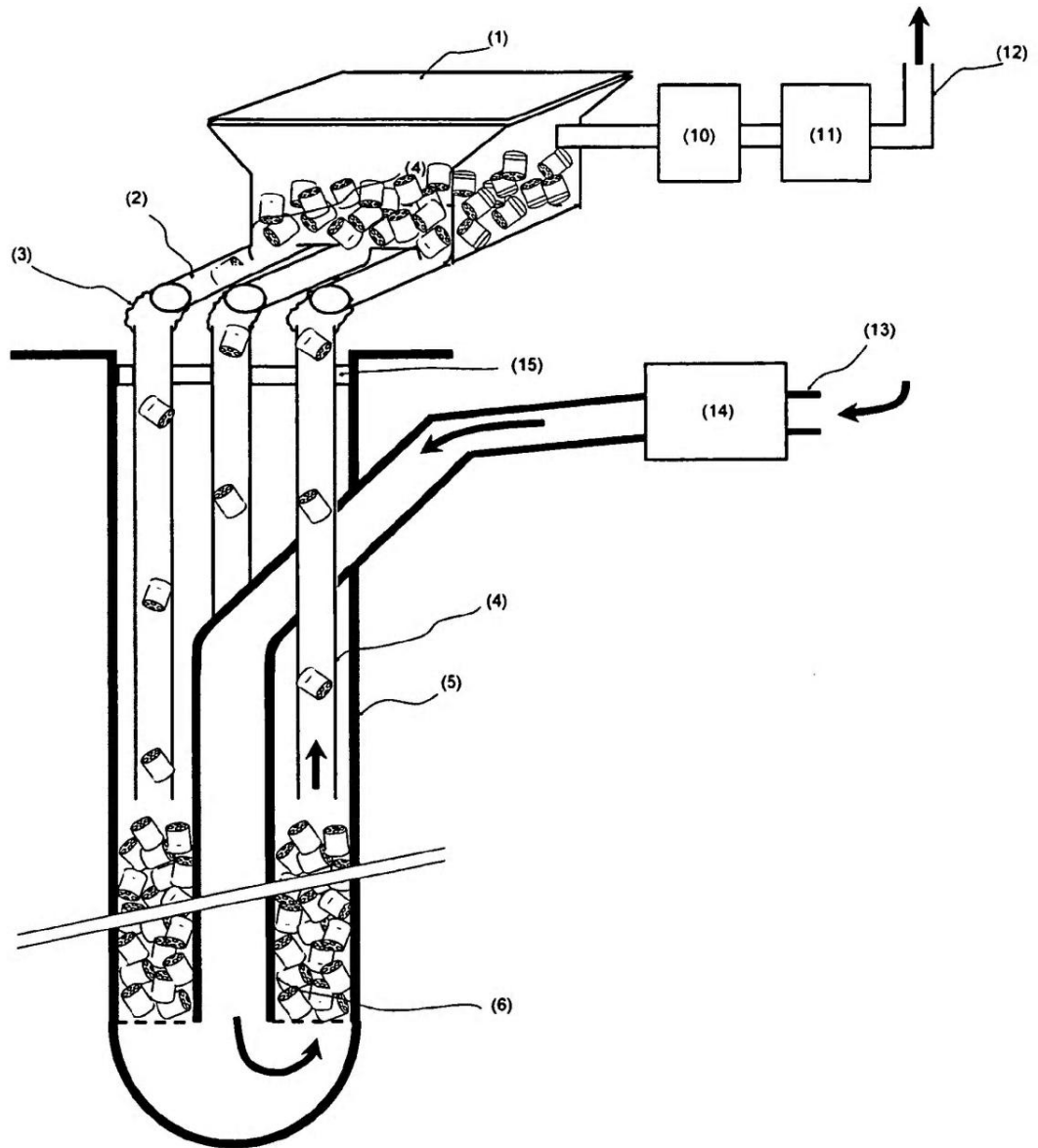


Figura 3