

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 863**

51 Int. Cl.:

B01J 8/00 (2006.01)
B01J 8/02 (2006.01)
B01J 15/00 (2006.01)
B01J 19/00 (2006.01)
C01B 21/26 (2006.01)
C01B 21/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2008 E 08758816 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 2160236**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para la reacción en fase gaseosa catalítica de amoníaco, así como su uso**

30 Prioridad:

06.06.2007 DE 102007026712

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

06.03.2015

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP INDUSTRIAL SOLUTIONS AG
(100.0%)
ThyssenKrupp Allee 1
45143 Essen, DE**

72 Inventor/es:

**SCHWEFER, MEINHARD;
GROVES, MICHAEL;
FUCHS, JÜRGEN;
MAURER, RAINER;
SIEFERT, ROLF y
HÜNDGEN, BERNHARD**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 530 863 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 y procedimiento para la reacción en fase gaseosa catalítica de amoníaco, así como su uso

5 La presente invención se refiere a reactores mejorados para la oxidación catalítica de amoníaco en fase gaseosa y a procedimientos a llevar a cabo con los mismos que se pueden utilizar, por ejemplo, como componentes en la preparación de caprolactama o, en particular, de ácido nítrico.

En la realización de reacciones en fase gaseosa catalíticas se libera en muchos casos un calor de la reacción. El aumento de la temperatura provocado con ello en el interior del reactor puede representar una fuente de riesgo, en particular cuando se trabaja con mezclas de precursores explosivas.

10 El calor que se libera en el caso de reacciones en fase gaseosa exotérmicas puede acceder a las secciones del reactor situadas delante de la zona de reacción, por ejemplo mediante la conducción de calor a través de las paredes del reactor caldeadas, inducida mediante convección por arremolinamiento de los gases de reacción que se mueven en dirección en contracorriente o mediante irradiación de calor. Como consecuencia de este transporte de calor, el gas precursor, antes de alcanzar la zona de reacción, ya se puede calentar en tal magnitud que antes de alcanzar esta zona la consecuencia son reacciones secundarias indeseadas o reacciones previas que discurren de forma incontrolada.

15 Un ejemplo de una reacción en fase gaseosa exotérmica llevada a cabo de manera industrial a gran escala es la preparación de ácido nítrico ("HNO₃"). Ésta tiene lugar a escala industrial, por lo general, según el proceso Ostwald mediante oxidación catalítica de amoníaco en catalizadores de Pt/Rh. En este caso, el NH₃ se oxida de manera muy selectiva en NO que luego se oxida, en el transcurso del proceso ulterior, en NO₂ y, finalmente, se hace reaccionar con agua en una torre de absorción para dar HNO₃. Los catalizadores de Pt/Rh están configurados como mallas finas y se extienden en una superficie amplia en un quemador. Dimensiones habituales para estas mallas se encuentran en el intervalo de 0,5-5 m de diámetro. El grosor del empaquetamiento de las mallas asciende habitualmente, en función del número de mallas empleadas, a unos pocos milímetros hasta como máximo 2 centímetros. Las mallas son recorridas por una mezcla gaseosa, típicamente a base de aproximadamente 8-12% en vol. de amoníaco y aire, ajustándose en las mallas, mediante la exotermia de la reacción, una temperatura de aproximadamente 850-950°C.

El gas de la reacción caliente se enfría a continuación en un intercambiador de calor en el que se genera vapor o se calienta el gas del proceso.

30 El motivo de la geometría de catalizador elegida de gran diámetro con una altura muy pequeña de las mallas es que la oxidación de NH₃ debe tener lugar, debido a una posible reacción consecutiva del NO, por una parte, con un tiempo de permanencia muy bajo y, por otra parte, que la pérdida de presión provocada por el recorrido de las mallas así como la sollicitación mecánica de éstas deben mantenerse lo más bajas posible. Así, el recorrido de las mallas en la producción industrial de HNO₃ con una velocidad lineal relativamente baja tiene lugar, en función del intervalo de presiones, en el intervalo de aproximadamente 0,4 - 1,0 m/s en condiciones atmosféricas, de aproximadamente 1 - 3 m/s en el caso de combustiones a presión media, en el intervalo de 3 - 7 bar abs, y de aproximadamente 2 - 4 m/s en el caso de combustiones a alta presión en el intervalo de 8 - 12 bar abs, debiéndose entender los datos de velocidad como velocidades espaciales en vacío para el gas calentado por el calor de la reacción. En el caso de un flujo demasiado rápido, además la reacción puede extinguirse en las mallas de Pt/Rh por el efecto refrigerante de la corriente gaseosa que penetra (fenómeno "blow-out" (extinción)).

40 El límite inferior de la velocidad de flujo para la mezcla de amoníaco y aire viene marcado por la velocidad de llama de una posible combustión de amoníaco térmica, de modo que en cualquier caso está excluido un retroceso de la reacción activada sobre el catalizador en el recinto de gas libre delante del lecho de catalizador.

45 Junto a los catalizadores de malla clásicos, en la bibliografía científica y de patentes se describe también el empleo de catalizadores de metales no nobles basados en óxidos de metales de transición para la oxidación de amoníaco. Estos pueden emplearse por sí solos o también en combinación con mallas de Pt/Rh.

Una panorámica respectiva se encuentra, por ejemplo, en Sadykow et al., Appl. Catal. General A: 204(2000) 59-87. El impulso para el uso de catalizadores de metales no nobles es el ahorro de metales nobles, en particular de platino. Los catalizadores de metales nobles se consumen, a saber, durante la oxidación de amoníaco y, en cada caso en función de la sollicitación de las mallas, deben ser sustituidos a intervalos de aproximadamente tres meses a un año, lo cual determina costes considerables.

- Habitualmente, los catalizadores basados en óxidos de metales de transición, al igual que también los catalizadores mallas de Pt/Rh son recorridos con velocidades de flujo relativamente bajas. Esto es en este caso particularmente necesario con el fin de no volver a extinguir la oxidación de amoníaco activada en los catalizadores. Catalizadores basados en óxidos de metales de transición son, por norma general, menos activos que los catalizadores de metales nobles y, en comparación con éstos, presentan una temperatura de arranque claramente superior al igual que también una temperatura de extinción más elevada.
- En el documento WO-A-99/25.650 se describen medidas de cómo mediante el empleo de gránulos de catalizador de grano muy fino que están incorporados en los denominados cartuchos ("cartridges"), se puede disminuir la temperatura de extinción, sin con ello permitir que aumente demasiado la pérdida de presión.
- En el caso de la oxidación catalítica de amoníaco existe, además, siempre el problema de que el amoníaco se inflama, antes del contacto con el catalizador de oxidación propiamente dicho, p. ej. en las paredes calientes de los tubos, y con ello se calcina de manera no selectiva para formar N_2 y H_2O o también N_2O .
- En el documento EP-A-1.028.089 se describe que mediante la retro-radiación de la combustión de amoníaco en estructuras interiores de distribución para la aportación de la mezcla de NH_3 /aire puede producirse un calentamiento de estas estructuras interiores, con lo cual una parte del NH_3 que penetra se oxida en N_2O en la superficie de estas estructuras interiores.
- El documento US-A-5.266.291 da a conocer un reactor de oxidación que en la zona de entrada presenta un empaquetamiento a base de partículas de materiales inertes. Este empaquetamiento sirve para la mezcladura a fondo de los gases introducidos y para evitar igniciones prematuras de la mezcla gaseosa inflamable formada por mezcladura.
- El problema de la ignición previa de NH_3 es particularmente importante en las concentraciones de NH_3 técnicamente relevantes y elevadas de 8-12% en vol., ya que aquí mediante la exotermia de la reacción, la combustión se mantiene por sí misma e incluso se puede potenciar.
- Junto a la temperatura de ignición propiamente dicha, es decir, la temperatura de la superficie crítica por encima de la cual puede manifestarse una descomposición de NH_3 , es también de importancia decisiva, por lo tanto, la evacuación del calor que se libera mediante la descomposición de NH_3 .
- Esta evacuación mejora cuanto más rápidamente fluya la corriente de gas cargada con amoníaco por encima de las superficies (efecto refrigerante) y cuanto más fría esté ésta. Además, el tiempo de permanencia de la corriente de gas precursor se reduce antes del contacto con el catalizador y, con ello, el tiempo de reacción de la posible reacción previa no selectiva.
- En la producción industrial de HNO_3 mediante oxidación de amoníaco a través de mallas de Pt/Rh, la baja temperatura de arranque de los catalizadores de Pt/Rh muy activos posibilita una temperatura de entrada relativamente baja de aprox. 200°C. De este modo, la ignición previa de amoníaco no presenta, a pesar de las bajas temperaturas de flujo, obstáculo alguno para la realización industrial del procedimiento.
- En el caso de empleo de catalizadores con escasa actividad catalítica debe trabajarse, sin embargo, a temperaturas elevadas (precalentamiento) de la mezcla de gas precursor o con bajas velocidades de flujo o, preferiblemente, con una combinación de ambas medidas. Bajo estas condiciones aumenta el riesgo de una ignición previa del amoníaco.
- Ensayos con catalizadores alveolares que, en comparación con las mallas de platino, presentan una sección transversal menor y una mayor profundidad del lecho de catalizador, han demostrado ahora que la selectividad de la formación de NO_x deseado a bajas velocidades de flujo de la mezcla de gases precursores es sólo muy baja. La rentabilidad de un proceso de este tipo se pone, por consiguiente, en entredicho. Este efecto podría compensarse, en teoría, mediante el aumento de la velocidad de flujo de la mezcla de gases precursores. Sin embargo, en la práctica se le establecen límites a un aumento de las velocidades de flujo, dado que se manifiesta un aumento desproporcionado de la pérdida de presión y, además, bajo determinadas circunstancias, sólo se alcanza una combustión incompleta del amoníaco.
- En el caso de reacciones en fase gaseosa exotérmicas hechas funcionar industrialmente tales como, p. ej., otras reacciones de oxidación que no sea la oxidación de amoníaco, epoxidaciones o halogenaciones en los radicales de hidrocarburos existen en principio los mismos problemas.

Misión de la presente invención es la habilitación de un reactor y un procedimiento para la reacción en fase gaseosa exotérmica catalítica en los que se reduzcan los riesgos de la ignición previa de la mezcla de gases precursores empleada o bien del transcurso de reacciones secundarias indeseadas.

5 La presente invención se refiere a un reactor para la oxidación exotérmica catalítica de amoníaco en fase gaseosa mediante reacción de un gas precursor para formar un gas de producto con, visto en la dirección de flujo del gas precursor, una zona de entrada (1), una zona de reacción (2) que contiene al menos un catalizador (4) y una zona de salida (3) para el gas de producto, en el que en la zona de entrada (1) se introduce una mezcla de gases precursores con contenido en amoníaco y oxígeno, en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) está prevista al menos una camisa aislante (6) que aísla al recinto interior del reactor a la altura de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) frente al revestimiento de reactor (5, 20), y en donde está previsto al menos un dispositivo (7a, 7b, 27) para conducir un medio refrigerante en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) que se encuentra en el revestimiento de reactor (5, 20) o en la pared interna del revestimiento de reactor (5, 20), en donde la camisa aislante (6) y el dispositivo para conducir un medio refrigerante (7a, 7b, 27) reducen el transporte de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1), y en donde las paredes internas del reactor en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y la zona de reacción (2) se componen de un material inerte.

20 El gas precursor se aporta al reactor a través de la zona de entrada (1) y fluye acto seguido a través de la zona de reacción (2) en la que se encuentra el catalizador (4). Allí, el gas precursor reacciona, en su totalidad o en parte, en reacción exotérmica bajo formación del gas de producto, que a continuación abandona el reactor a través de la zona de salida (3). Como consecuencia del calor generado en la zona de reacción (2) existe el riesgo de que este calor sea transportado a través de tubería, por convección y/o irradiación, al menos en parte, en contracorriente con el gas precursor a la zona de entrada (1) y caliente allí, de una manera injustificable, al gas precursor o bien a la superficie de la pared del reactor en la zona de entrada (1).

25 Con el fin de evitar o al menos de dificultar esto, de acuerdo con la invención en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) están previstos medios que reducen el transporte de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1).

Además de ello, las paredes internas del reactor en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) están configuradas de un material inerte. Esta forma de realización impide o dificulta la reacción catalítica del gas precursor en las paredes internas del reactor.

30 Por la expresión "material inerte" se han de entender en el marco de esta memoria descriptiva todos aquellos materiales en los que a las temperaturas que reinan en la zona de entrada en los gases precursores o bien a las temperaturas en las superficies de la pared interna de la zona de entrada no fomentan reacciones secundarias indeseadas. Adicionalmente, estos materiales pueden reducir el transporte de calor desde la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1). Una forma de realización preferida son materiales inertes y térmicamente aislantes.

35 Los materiales inertes cubren las paredes internas del reactor. Estos materiales están dispuestos, p. ej., en las paredes internas del reactor o se presentan en forma de manguitos en el reactor o las paredes del reactor se componen de materiales inertes.

Ejemplos de materiales inertes son materiales cerámicos, en particular materiales cerámicos sinterizados a estanqueidad y, además, vidrio de cuarzo, chamota, esmalte así como metales con superficies pulidas.

40 Como medios para reducir el transporte de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1), en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) está prevista una camisa aislante (6) que aísla al recinto interior del reactor frente al revestimiento (5) de reactor. Esta camisa aislante (6) actúa esencialmente de dos maneras. El calor que accede a lo largo del revestimiento (5) de reactor buen conductor térmico desde la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) sólo puede ser transportado con dificultad a través de la envolvente aislante (6) mala conductora del calor sobre la superficie orientada al gas precursor. Además, la conducción directa de calor a lo largo de la camisa aislante (6) desde la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) está reducida como consecuencia de la baja conductividad de calor de la camisa aislante (6).

45 Además de ello, en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) está previsto un dispositivo para conducir un medio refrigerante. Este dispositivo absorbe en parte el calor generado en la zona de reacción (2), de modo que este calor ya no se encuentra a disposición para un transporte de calor a la zona de entrada (1), y/o de modo que este calor es introducido en un lugar de la zona de entrada (1) en el gas precursor en la que éste todavía está frío, de manera que no es crítico un aumento de temperatura provocado por la introducción del medio refrigerante; o el medio refrigerante enfría la zona de entrada

(1) contigua a la zona de reacción (2) con tal intensidad que la temperatura de la zona de zona de entrada (1) permanece en la región no crítica a pesar del calor evacuado de la zona de reacción (2). El reactor de acuerdo con la invención presenta una combinación de estas dos medidas.

5 En el caso del reactor de acuerdo con la invención, en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) están previstos medios que reducen el transporte de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1), y las paredes internas del reactor se componen de un material inerte en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2).

La invención se refiere también a un procedimiento para llevar a cabo una oxidación exotérmica catalítica de amoníaco en fase gaseosa con el empleo del reactor arriba descrito.

10 El procedimiento presenta las siguientes medidas:

- i) introducción de una mezcla de gases precursores con contenido en amoníaco y oxígeno en la zona de entrada (1) de un reactor,
- ii) aportación de la mezcla de gases precursores a una zona de reacción (2) con contenido en un catalizador (4) en condiciones tales que la mezcla de gases precursores en la zona de reacción (4) se hace reaccionar, en reacción exotérmica, en su totalidad o en parte para formar un gas de producto,
- 15 iii) evacuación del reactor del gas de producto a través de una zona de salida (3), y
- iv) 20 habilitación de medios para reducir el transporte de calor de la reacción desde la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) en forma de al menos una camisa aislante (6) que aísla el recinto interno del reactor a la altura de la zona de entrada (1) o a la altura de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) frente al revestimiento de reactor (5) y al menos un dispositivo (7a, 7b, 27) para conducir un medio refrigerante en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) que se encuentra en el revestimiento de reactor (5, 20) o en la pared interna del revestimiento de reactor(5, 20), y uso de un reactor cuyas paredes internas se componen de un material inerte en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y la zona de reacción (2).

Como gases precursores se emplean mezclas de gases precursores con contenido en amoníaco y oxígeno.

El reactor de acuerdo con la invención se emplea para la oxidación de amoníaco, en particular para la preparación de caprolactama y ácido nítrico.

30 Asimismo, de manera preferida, el reactor de acuerdo con la invención se emplea para la realización de la reacción de Andrussov, en particular para la preparación de cianuro de hidrógeno a partir de amoníaco, oxígeno e hidrocarburos, preferiblemente metano.

En la descripción que sigue se expone con mayor detalle, a modo de ejemplo como reacción modelo, la oxidación de amoníaco para la preparación de ácido nítrico. En principio, el reactor y los procedimientos de acuerdo con la invención – tal como se exponen arriba – son adecuados, sin embargo, también para otras reacciones.

40 Como catalizadores pueden emplearse todos los catalizadores adecuados para la reacción objetivo o bien reacciones objetivo, respectivas. Éstos pueden pasar a emplearse, p. ej., en forma pura como catalizadores no soportados o soportados. También pueden utilizarse todas las geometrías de catalizador habituales, por ejemplo nódulos, granulados, productos extrudidos o polvos en forma de apilamientos, empaquetamientos, mallas u otras formas tales como, por ejemplo, en forma de cuerpos alveolares monolíticos.

De acuerdo con la invención, en este caso pueden emplearse, en particular, catalizadores con contenido en óxidos de metales de transición tal como se describe, por ejemplo, en Appl. Catal. General A: 204(2000) 59-87, en el documento US-A-5.690.900 o en el documento EP-A-946.290

45 Particularmente adecuados son catalizadores con contenido en cobalto. Como tipo estructural son particularmente ventajosas perovskitas.

Preferiblemente, de acuerdo con la invención, para la oxidación de amoníaco se emplean catalizadores en forma de panel. Éstos pueden presentarse, p. ej., en forma de catalizadores no soportados alveolares, o soportados en forma de soportes alveolares sobre los cuales y/o en los cuales está incorporado el material catalíticamente activo.

50 De manera particularmente preferida, se emplean catalizadores, por ejemplo en forma de apilamientos, empaquetamientos o panales que, visto en la dirección de flujo, presentan una profundidad de al menos 3 cm,

preferiblemente de al menos 5 cm, en particular de al menos 10 cm y de manera muy particularmente preferida de 10 a 200 cm.

Los siguientes Ejemplos y Figuras explican la invención sin limitar a ésta con ello. Muestran:

- Figura 1: un dispositivo en corte longitudinal (no de acuerdo con la invención).
- 5 Figura 2: otro dispositivo en corte longitudinal (no de acuerdo con la invención).
- Figura 3: un dispositivo de acuerdo con la invención en corte longitudinal.
- Figura 4: otro dispositivo en corte longitudinal (no de acuerdo con la invención).
- Figura 5: otro dispositivo de acuerdo con la invención en corte longitudinal.
- Figura 6: un reactor de oxidación de amoníaco modificado de acuerdo con la invención en corte longitudinal.
- 10 Figura 7: otro dispositivo de acuerdo con la invención en corte longitudinal.

Las Figuras se describen individualmente en los siguientes Ejemplos.

Ejemplo 1 (no de acuerdo con la invención)

En la Figura 1 se explican, con ayuda de un dispositivo de oxidación de amoníaco, algunas características fundamentales de un reactor.

- 15 Un dispositivo para la oxidación de amoníaco se puede dividir en tres zonas, a saber, en una zona de entrada (1), en una zona de reacción (2) y en una zona de salida (3).

La mezcla gaseosa con contenido en amoníaco/oxígeno (en lo que sigue "mezcla de gases precursores") se introduce en la zona de entrada (1) e incide en la zona de reacción (2) que se une a ella sobre el catalizador de oxidación de amoníaco (4). A continuación, la mezcla de gases de producto de las reacciones de oxidación abandona la zona de reacción (2) a través de la zona de salida (3).

En la forma de realización representada en la Figura 1, las tres zonas (1, 2, 3) del dispositivo están rodeadas por un revestimiento (5) que es, adicionalmente, soporte para el catalizador (4), así como para una camisa de aislamiento (6). El revestimiento (5) puede representar por si mismo las paredes de un recipiente de presión o alternativamente, el revestimiento puede estar incorporado en un recinto que, de nuevo, está rodeado por una camisa de presión no representada en la Figura 1.

Para el desacoplamiento térmico de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) sirve la camisa aislante (6) que se compone de un material térmicamente aislante y estanco a los gases. La camisa aislante (6) impide o bien dificulta que, como consecuencia de la conducción de calor a través del revestimiento (5), el calor que accede de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) sea transmitido a la mezcla de gases precursores. La parte del revestimiento (5) que se encuentra en la zona de entrada se vuelve ciertamente más caliente por la conducción de calor del calor de la reacción desde la zona de reacción (2) pero se inhibe fuertemente la transmisión de calor a la mezcla de gases precursores mediante la camisa aislante (6) térmicamente aislante. Dado que la camisa aislante (6) sólo es escasamente conductora del calor, la camisa aislante (6) también impide o bien dificulta el transporte directo de calor a lo largo de la camisa aislante (6) desde la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1). Mediante la elección adecuada de los materiales y del grosor de la camisa aislante (6), la temperatura de la pared de la camisa aislante (6) orientada hacia la mezcla de gases precursores permanece por debajo de la temperatura de ignición o bien de reacción de la mezcla de gases precursores y se evitan reacciones prematuras indeseadas.

Ejemplo 2 (no de acuerdo con la invención)

En la Figura 2 se representa un dispositivo similar al de la Figura 1. A excepción de la realización del desacoplamiento térmico entre la zona de entrada y de reacción (1, 2), esta forma de realización se asemeja al dispositivo del Ejemplo 1.

También en este dispositivo de oxidación de amoníaco están presentes una zona de entrada (1), una zona de reacción (2) y una zona de salida (3).

La mezcla de gases con contenido en amoníaco/oxígeno se introduce en la zona de entrada (1). Después, la mezcla en la zona de reacción (2) incide sobre el catalizador de oxidación de amoníaco (4). A continuación, la mezcla de productos de las reacciones de oxidación abandona la zona de reacción (2) a través de la zona de salida (3).

El revestimiento (5) de las tres zonas soporta el catalizador (4). El revestimiento (5) puede representar por sí mismo las paredes de un recipiente de presión o, alternativamente, el revestimiento puede estar incorporado en un recinto que, de nuevo, está rodeado por una camisa de presión (aquí no representada).

5 A la altura de la zona de entrada y de reacción (1,2) el revestimiento (5) está realizado en doble pared. En el extremo de la doble pared a la altura de la zona de reacción (2) está incorporada una entrada (7) para un medio refrigerante que es compatible con la mezcla de gases precursores, las reacciones deseadas en el reactor, el catalizador (4) y la mezcla de gases de producto. Para el empleo en instalaciones de preparación de ácido nítrico puede emplearse, por ejemplo, aire como medio refrigerante adecuado.

10 El medio refrigerante fluye a través del recinto (9) en la doble pared y, con ello, enfría la pared interna del revestimiento (5). Con ello se realiza un desacoplamiento térmico de la zona de entrada (1) de la zona de reacción (2), dado que el calor que accede como consecuencia de la conducción de calor a través del revestimiento (5) de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) es transferido al medio refrigerante.

A través de varios pequeños orificios (10) en el extremo de la doble pared a la altura de la zona de entrada (1), el medio refrigerante penetra en la zona de entrada (1) y se mezcla con la mezcla de gases precursores.

15 Mediante la elección adecuada de las distancias entrada (7) y orificios (10), así como mediante la elección adecuada del tipo, cantidad, velocidad de flujo y temperatura de entrada del medio refrigerante se puede regular la temperatura en la mezcla de gases precursores y en la superficie interna del revestimiento (5) por debajo de la temperatura de ignición o bien de reacción de la mezcla de gases precursores y se pueden evitar reacciones prematuras indeseadas.

20 Ejemplo 3 (de acuerdo con la invención)

En la Figura 3 se representa un dispositivo de acuerdo con la invención, que permite un desacoplamiento térmico particularmente eficaz entre la zona de entrada y de reacción.

También en este dispositivo de oxidación de amoníaco están presentes una zona de entrada (1), una zona de reacción (2) y una zona de salida (3).

25 La mezcla de gases con contenido en amoníaco/oxígeno se introduce en la zona de entrada (1). Después, la mezcla en la zona de reacción (2) incide sobre el catalizador de oxidación de amoníaco (4). A continuación, la mezcla de productos de las reacciones de oxidación abandona la zona de reacción (2) a través de la zona de salida (3).

30 El revestimiento (5) de las tres zonas soporta el catalizador (4) y la camisa envolvente (6). El revestimiento (5) puede representar por sí mismo las paredes de un recipiente de presión o, alternativamente, el revestimiento (5) puede estar incorporado en un recinto que, de nuevo, está rodeado por una camisa de presión (aquí no representada).

35 A la altura de la zona de entrada y de reacción (1,2) el revestimiento (5) está realizado en doble pared. Allí están dispuestas también conexiones (7a, 7b) para un medio refrigerante. Medios refrigerantes adecuados son, por ejemplo, agua o aire. El medio refrigerante puede fluir en o contra la dirección de flujo de la mezcla de gases precursores. Para el desacoplamiento térmico de la zona de entrada (1) de la zona de reacción (2) sirven tanto la camisa aislante (6) como la sollicitación del recinto (9) entre las dobles paredes del revestimiento (5) con un medio refrigerante.

40 La camisa aislante (6) que se compone de un material térmicamente aislante y que cubre el revestimiento (5) a la altura de la zona de reacción (2) y de la zona de entrada (1) impide que, como consecuencia de la conducción de calor a través del revestimiento (5), el calor que accede de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) sea transmitido a la mezcla de gases precursores. Dado que la camisa aislante (6) sólo es escasamente conductora del calor, la camisa aislante (6) impide o bien dificulta también el transporte directo de calor a lo largo de la camisa aislante (6) de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1).

45 El medio refrigerante fluye a través del recinto (9) en la doble pared del revestimiento (5) y, con ello, enfría la pared interna del revestimiento (5). Con ello se realiza un desacoplamiento térmico adicional de la zona de entrada (1) de la zona de reacción (2), dado que el calor que accede a través del revestimiento (5) mediante conducción de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) es transferido al medio refrigerante. Después de recorrer la doble pared, el medio refrigerante sale de nuevo del recinto (9) entre las dobles paredes a través de una de las conexiones (7a, 7b).

Con ello, el efecto de refrigeración de la camisa aislante (6) es sustentado por el medio refrigerante. Mediante la elección adecuada de los materiales aislantes y de su grosor, así como del medio refrigerante, la temperatura de la pared de la camisa aislante (6), orientada hacia la mezcla de gases precursores, queda por debajo de la temperatura de ignición o bien de reacción de la mezcla de gases precursores y se pueden evitar reacciones prematuras indeseadas.

Ejemplo 4 (no de acuerdo con la invención)

En la Figura 4 se representa un dispositivo similar al de la Figura 2. En este caso, el desacoplamiento térmico entre la zona de entrada y de reacción (1, 2) tiene lugar mediante refrigeración de la zona de entrada.

También en este dispositivo de oxidación de amoníaco están presentes una zona de entrada (1), una zona de reacción (2) y una zona de salida (3).

La mezcla de gases con contenido en amoníaco/oxígeno se introduce en la zona de entrada (1). Después, la mezcla en la zona de reacción (2) incide sobre el catalizador de oxidación de amoníaco (4). A continuación, la mezcla de productos de las reacciones de oxidación abandona la zona de reacción (2) a través de la zona de salida (3).

El revestimiento (5) de las tres zonas soporta el catalizador (4). El revestimiento (5) puede representar por sí mismo las paredes de un recipiente de presión o, alternativamente, el revestimiento puede estar incorporado en un recinto que, de nuevo, está rodeado por una camisa de presión (aquí no representada).

A la altura de la zona de entrada (1) el revestimiento (5) está realizado en doble pared. En el extremo de la doble pared a la altura de la zona de reacción (2) está incorporada una entrada (7) para un medio refrigerante que es compatible con la mezcla de gases precursores, las reacciones deseadas en el reactor, el catalizador (4) y la mezcla de gases de producto. Para el empleo en instalaciones de preparación de ácido nítrico puede emplearse, por ejemplo, aire como medio refrigerante adecuado.

El medio refrigerante fluye a través del recinto (9) en la doble pared y, con ello, enfría la pared interna del revestimiento (5) a la altura de la zona de entrada (1). Con ello se realiza un desacoplamiento térmico de la zona de entrada (1) de la zona de reacción (2), dado que el calor que accede como consecuencia de la conducción de calor a través del revestimiento (5) de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) es transferido al medio refrigerante.

A través de varios pequeños orificios (10) en el extremo de la doble pared situado contra la dirección de flujo del gas precursor, el medio refrigerante penetra en la zona de entrada (1) y se mezcla con la mezcla de gases precursores.

Mediante la elección adecuada de las distancias entrada (7) y orificios (10), así como mediante la elección adecuada del tipo, cantidad, velocidad de flujo y temperatura de entrada del medio refrigerante se puede regular la temperatura en la mezcla de gases precursores y en la superficie interna del revestimiento (5) por debajo de la temperatura de ignición o bien de reacción de la mezcla de gases precursores y se pueden evitar reacciones prematuras indeseadas.

Ejemplo 5 (de acuerdo con la invención)

En la Figura 5 se representa un dispositivo similar al representado en la Figura 3. No obstante, aquí la camisa aislante (6) discurre sólo a la altura de la zona de entrada (1).

También en este dispositivo de oxidación de amoníaco están presentes una zona de entrada (1), una zona de reacción (2) y una zona de salida (3).

La mezcla de gases con contenido en amoníaco/oxígeno se introduce en la zona de entrada (1). Después, la mezcla incide sobre el catalizador de oxidación de amoníaco (4) en la zona de reacción (2). A continuación, la mezcla de productos de las reacciones de oxidación abandona la zona de reacción (2) a través de la zona de salida (3).

El revestimiento (5) de las tres zonas soporta el catalizador (4) y la camisa envolvente (6). El revestimiento (5) puede representar por sí mismo las paredes de un recipiente de presión o, alternativamente, el revestimiento (5) puede estar incorporado en un recinto que, de nuevo, está rodeado por una camisa de presión (aquí no representada).

A la altura de la zona de entrada y de reacción (1,2) el revestimiento (5) está realizado en doble pared. Allí están dispuestas también conexiones (7a, 7b) para un medio refrigerante. El medio refrigerante puede fluir en o contra la dirección de flujo de la mezcla de gases precursores. Para el desacoplamiento térmico de la zona de entrada (1) de

la zona de reacción (2) sirven tanto la camisa aislante (6) como la sollicitación del recinto (9) en la doble pared del revestimiento (5) con un medio refrigerante.

5 La camisa aislante (6) que se compone de un material térmicamente aislante y que cubre el revestimiento (5) a la altura de la zona de reacción (2) y de la zona de entrada (1) impide que, como consecuencia de la conducción de calor a través del revestimiento (5), el calor que accede de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) sea transmitido a la mezcla de gases precursores. Dado que la camisa aislante (6) sólo es escasamente conductora del calor, la camisa aislante (6) impide o bien dificulta también el transporte directo de calor a lo largo de la camisa aislante (6) de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1).

10 El medio refrigerante fluye a través del recinto (9) en la doble pared del revestimiento (5) y, con ello, enfría la pared interna del revestimiento (5). Con ello se realiza un desacoplamiento térmico adicional de la zona de entrada (1) de la zona de reacción (2), dado que el calor que accede a través del revestimiento (5) mediante conducción de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) es transferido al medio refrigerante. Después de recorrer la doble pared, el medio refrigerante sale de nuevo del recinto (9) en la doble pared a través de una de las conexiones (7a, 7b).

15 El efecto de refrigeración de la camisa aislante (6) es sustentado por el medio refrigerante. Mediante la elección adecuada de los materiales aislantes y de su grosor, así como del medio refrigerante, la temperatura de la pared de la camisa aislante (6), orientada hacia la mezcla de gases precursores, queda por debajo de la temperatura de ignición o bien de reacción de la mezcla de gases precursores y se pueden evitar reacciones prematuras indeseadas.

20 Ejemplo 6 (de acuerdo con la invención)

Esta forma de realización es predominantemente adecuada para reemplazar a la campana existente de un reactor de oxidación de amoníaco convencional. En la Figura 6 se muestra un reactor de oxidación de amoníaco de acuerdo con la invención.

25 Una mezcla con contenido en oxígeno y amoníaco penetra en el dispositivo a través de la boca (12). La mezcla se conduce a través de un catalizador de oxidación de amoníaco (4) que aquí está configurado de manera alveolar o que se encuentra sobre y/o en un soporte alveolar. Allí, el amoníaco se hace reaccionar mediante reacción con una parte del oxígeno en la mezcla de precursores para formar monóxido de nitrógeno. Mediante la reacción exotérmica tiene lugar un aumento de la temperatura en el catalizador de oxidación de amoníaco (4) que se encuentra en la zona de reacción (2). La mezcla de producto caliente penetra a través del orificio (13) detrás del catalizador de oxidación de amoníaco (4) a un recinto (3) que representa la zona de salida. A continuación de este recinto (3), el gas de producto caliente se conduce, en una turbina de gas aquí no representada o de uno o varios intercambiadores de calor aquí no representados, para la recuperación de energía o para otro uso del calor del proceso.

35 Con el fin de realizar el desacoplamiento térmico del lado de aportación del precursor desde la zona de reacción (2), el catalizador de oxidación de amoníaco (4) se emplea en un manguito (14) hecho de material térmicamente aislante y resistente a la temperatura, por ejemplo de material cerámico o vidrio de cuarzo. Con ello, se evitan eventuales igniciones previas de la mezcla de gases precursores con contenido en amoníaco y oxígeno. El catalizador de oxidación de amoníaco (4) se asienta en este caso suelto en el manguito (14) y descansa sobre un anillo de soporte (15) y – en el caso de un catalizador (4) de varias piezas – varios sostenes no representados a base de un material resistente a la temperatura, por ejemplo material cerámico o vidrio de cuarzo. El anillo de soporte (15) evita una eventual derivación del gas. Los sostenes, caso de estar instalados, están realizados de manera que únicamente cierran una parte no esencial de la sección transversal de flujo.

45 Para el apoyo y para la protección del manguito (14), éste está revestido con un manguito metálico (16) a base de un material resistente a altas temperaturas. El extremo inferior del manguito metálico (16) está provisto de un labio (17) que sustenta al sostén o bien anillo de apoyo (15) y, con ello, de forma indirecta también al catalizador (4). En el extremo inferior del manguito metálico (16) está dispuesta una parrilla de enrejado (18), a través de la cual el gas de producto cae desde el catalizador de oxidación de amoníaco (4) al recinto (3). La parrilla de enrejado (18) sirve para la estabilización mecánica del manguito metálico (16) y para la sustentación de posibles sostenes. Para el caso de que el catalizador de oxidación de amoníaco (4) no se componga sólo de una parte, sino que esté constituido por varias partes, la parrilla de enrejado (18) sirve para sustentar las partes individuales a través del sostén. En el caso de que el manguito (14) se rompiera de una manera imprevisible, por ejemplo debido a una sollicitación térmica, el manguito metálico (16), el labio (17) y la parrilla de enrejado (18) impiden, además, que se caiga el manguito (14) y el catalizador de oxidación de amoníaco (4) al recinto (3).

El manguito (14) y el manguito metálico (16) están unidos con espigas y tuercas (19) con la camisa de presión (20) del reactor de oxidación de amoníaco. El recinto de presión queda cerrado hacia el exterior mediante una pestaña de presión (23) dispuesta en el recipiente.

5 Para el cambio del catalizador se retira la boca (12) mediante la liberación de las uniones roscadas. A continuación, las tuercas o bien espigas (19) se separan y el manguito metálico y de material cerámico o bien de vidrio de cuarzo (16, 14) se retira del reactor junto con el catalizador de oxidación de amoníaco (4). Con el fin de minimizar la duración del tiempo de parada de la instalación (también frente a un reactor de oxidación de amoníaco convencional) puede inmediatamente instalarse en el reactor una segunda unidad consistente en manguitos metálicos y de material cerámico o bien de vidrio de cuarzo (16, 14) y un nuevo catalizador de oxidación de amoníaco (4), habilitada antes de la paralización.

10 Con el fin de sustentar, en caso necesario, la reacción de oxidación de amoníaco durante la puesta en funcionamiento, el catalizador de oxidación de amoníaco (4) puede ser precalentado o bien activado a través de una lanza de ignición (25). La lanza de ignición (25) se compone de un tubo delgado a través del cual se conduce hidrógeno al reactor de oxidación de amoníaco, y de un dispositivo que puede encender la corriente de hidrógeno en el extremo abierto de la lanza de ignición.

15 Para el control del proceso de ignición y la verificación del estado catalizador de oxidación de amoníaco (4) durante el funcionamiento sirve el cristal de observación (26) montado en el codo del reactor de oxidación de amoníaco. El control puede tener lugar de forma manual mediante inspección ocular o con ayuda de dispositivos de medición correspondientes tales como fotómetro.

20 Con el fin de atenuar la sollicitación de temperatura en el material de la pared del recipiente de presión en el recinto (3) detrás del catalizador de oxidación de amoníaco (4), la pared es provista de una refrigeración por tubo con aletas axiales (27) incorporada en la cara interior. A través de los tubos de la pared de las aletas fluye agua u otro medio refrigerante.

Ejemplo 7 (de acuerdo con la invención)

25 Esta ejecución, representada en la Figura 7, de un reactor de oxidación de amoníaco de acuerdo con la invención es particularmente bien adecuada para equipar a nuevas instalaciones para la preparación de NO, dado que ya no se da la necesidad de una adaptación al diámetro de un aparato de recuperación de calor ya presente tal como, p. ej., una caldera de vapor.

30 La diferencia fundamental con respecto al reactor del Ejemplo 6 estriba en que la pared de las aletas (27) se arrima al manguito metálico (16) y, por consiguiente, ya no es necesaria una adaptación al mayor diámetro, por norma general, de un aparato dispuesto a continuación. En el caso de esta forma de realización, los aparatos dispuestos a continuación pueden adaptarse al reactor de oxidación de amoníaco. Como alternativa a la suspensión representada del manguito metálico (16), el labio metálico (17) previsto para la sustentación del catalizador (4) puede ser incorporado directamente a la pared de las aletas (27) en lugar de al manguito metálico (16). Esto repercute de manera positiva sobre la estabilidad mecánica de la construcción.

35 Los restantes elementos representados en la Figura 7 corresponden a los elementos de la Figura 6. En este caso, se trata del orificio (13), anillo de apoyo (15), parrilla de enrejado (18), espiga y tuercas (19), camisa de presión (20), lanza de ignición (25) y cristal de observación (26).

Ejemplos 8a a 8d

40 En el caso de un ensayo con catalizadores alveolares de óxidos de metales de transición para la oxidación de NH₃ en el que se intentó, desviándose del dimensionamiento del catalizador, por lo demás habitual, enfocar el flujo a una menor superficie de flujo con una profundidad comparativamente grande del lecho de catalizador (5 cm), en el reactor de ensayo se encontró, bajo condiciones atmosféricas a una velocidad lineal de 1,0 m/s sólo una escasa selectividad en relación con la formación de NO_x.

45 También un aumento de la velocidad lineal hasta 2,0 m/s condujo sólo a una mejora insuficiente de la selectividad de NO_x. Los resultados están representados en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Ejemplo N°	Velocidad lineal	Velocidad espacial	Conversión de NH ₃	Concentración de entrada de NH ₃	Selectividad de NO _x	Material del reactor
8a	1,0 m/s	10.000 h ⁻¹	~100%	10%	47%	Acero noble
8b	2,0 m/s	20.000 h ⁻¹	~100%	10%	59%	Acero noble
8c	1,0 ms	10.000 h ⁻¹	~100%	1%	38%	Acero noble
8d	1,0 m/s	10.000 h ⁻¹	~100%	1%	100%	Vidrio de cuarzo

Realización de los ensayos

- 5 Un catalizador alveolar no soportado (200 csi, longitud 5 cm, diámetro 1,8 cm), consistente en LaCoO_3 -perovskita, que estaba incorporado en un reactor tubular de acero noble o bien de vidrio de cuarzo fue recorrido con una mezcla a base de amoníaco al 10% o bien 1% en aire. El tubo del reactor estaba posicionado en una estufa de tubos, con ayuda de la cual se podían compensar posibles pérdidas de calor. La regulación de la temperatura tuvo lugar a través de un termo-elemento que estaba dispuesto aprox. 0,5 cm por debajo del panel del catalizador (en el lado de salida). La temperatura de salida ascendió unitariamente a 900°C.
- La composición de la corriente de gas entrante y saliente se examinó con ayuda de un analizador FTIR (modelo Avatar razón social Nicolet) con cubeta de gas.
- 10 El hallazgo representado en la Tabla 1 en los Ensayos 8a a 8c puede con ello explicarse debido a que una porción significativa del NH_3 aportado delante de la entrada a la zona del catalizador fue descompuesta en N_2 y H_2O tal como se confirmó mediante un correspondiente experimento en un tubo de reactor vacío. En este caso, en el tubo de reacción caldeado desde el exterior se registró, también sin la ausencia del catalizador alveolar y a una velocidad lineal de 1,0 m/s, una conversión completa de NH_3 que conducía esencialmente a la formación de N_2 y H_2O .
- 15 Si el ensayo se realiza conforme al Ejemplo 8c en un reactor a base de vidrio de cuarzo, que es un dispositivo aislante térmico y que al mismo tiempo es inerte, entonces se comprueba, sorprendentemente, que la selectividad de NO_x aumenta drásticamente (véase el Ejemplo 8d).

REIVINDICACIONES

1. Reactor para la oxidación exotérmica catalítica de amoníaco en fase gaseosa mediante reacción de un gas precursor para formar un gas de producto con, visto en la dirección de flujo del gas precursor, una zona de entrada (1), una zona de reacción (2) que contiene al menos un catalizador (4) y una zona de salida (3) para el gas de producto, en el que en la zona de entrada (1) se introduce una mezcla de gases precursores con contenido en amoníaco y oxígeno, en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) está prevista al menos una camisa aislante (6) que aísla al recinto interior del reactor a la altura de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) frente al revestimiento de reactor (5), y en donde está previsto al menos un dispositivo (7a, 7b, 27) para conducir un medio refrigerante en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) que se encuentra en el revestimiento de reactor (5, 20) o en la pared interna del revestimiento de reactor (5, 20), en donde la camisa aislante (6) y el dispositivo para conducir un medio refrigerante (7a, 7b, 27) reducen el transporte de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1), y en donde las paredes internas del reactor en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y la zona de reacción (2) se componen de un material inerte.
2. Reactor según la reivindicación 1, caracterizado por que los medios para reducir el transporte de calor de la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) están previstos en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2).
3. Reactor según la reivindicación 1, caracterizado por que el material inerte se elige del grupo de material cerámico, vidrio de cuarzo, esmalte o metales con superficies pulidas.
4. Reactor según la reivindicación 1, caracterizado por que la zona de entrada (1), la zona de reacción (2) y la zona de salida (3) están rodeadas por un revestimiento de reactor (5) que es adicionalmente soporte para el catalizador (4), así como para una camisa aislante (6) que aísla térmicamente al recinto interior del reactor en la región de al menos una parte de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de reacción (2) y al menos una parte de la zona de entrada (1) frente al revestimiento de reactor (5), y así inhibe la transmisión de calor de la zona de reacción (2) al gas precursor en la zona de entrada (1).
5. Reactor según la reivindicación 1, caracterizado por que la zona de entrada (1), la zona de reacción (2) y la zona de salida (3) están rodeadas por un revestimiento de reactor (5) realizado en doble pared a la altura de la zona de entrada (1) o a la altura de de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2), y por que en al menos un extremo del revestimiento de reactor de doble pared está prevista una conexión (7) para un medio refrigerante para su introducción en un recinto (9) formado por el revestimiento de reactor de doble pared, para la refrigeración de la pared interna del revestimiento de reactor (5) de doble pared, en donde preferiblemente en la pared interna del revestimiento (5) de reactor de doble pared está previsto al menos un orificio (10), a través del cual el medio refrigerante penetra en la zona de entrada (1) y se mezcla con el gas precursor, o en donde preferiblemente en el revestimiento de reactor de doble pared están previstas conexiones (7a, 7b) para la introducción y evacuación del medio refrigerante.
6. Reactor según una de las reivindicaciones 4 a 5, caracterizado por que el revestimiento de reactor (5) de doble pared está configurado como pared de un recipiente de presión o está incorporado en un recinto que está rodeado por una camisa de presión, o por que junto a la al menos una camisa aislante (6) está previsto al menos un revestimiento (5) de reactor configurado en doble pared que es adicionalmente soporte para el catalizador (4) y que presenta al menos una conexión (7) para un medio refrigerante.
7. Reactor según la reivindicación 1, caracterizado por que la camisa aislante (6) es un manguito (14) hecho de un material resistente a la temperatura y térmicamente aislante en el que está incorporado el catalizador (4).
8. Reactor según la reivindicación 7, caracterizado por que el manguito (14) está rodeado por un manguito metálico (16) de un material resistente a la temperatura, cuyo extremo inferior está provisto preferiblemente de un labio metálico (17), y por que en el extremo inferior del manguito metálico (16) está dispuesta una parrilla de enrejado (18) a través de la cual fluye la mezcla gaseosa desde la zona de reacción (2) a la zona de salida (3), en donde preferiblemente el manguito (14) y el manguito metálico (16) están unidos con espigas y tuercas (19) con la camisa de presión (20) del reactor.
9. Reactor según una de las reivindicaciones 7 a 8, caracterizado por que está prevista una lanza de ignición (25).
10. Reactor según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado por que sobre la cara interna de la pared del recipiente de presión del reactor está previsto un dispositivo de refrigeración, preferiblemente una refrigeración por

tubo con aletas axiales (27), con el fin de atenuar la sollicitación de temperatura de la pared del recipiente de presión en la zona de salida (3) detrás de la zona de reacción (2).

5 11. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que el catalizador (4) está configurado en forma de un panal o está dispuesto sobre y/o en un material de soporte estructurado de forma alveolar, y por que el catalizador está presente preferiblemente en forma de un apilamiento o empaquetamiento con una profundidad, vista en la dirección de flujo, de al menos 3 cm.

12. Procedimiento para llevar a cabo una oxidación exotérmica catalítica de amoníaco en la fase gaseosa con el empleo del reactor según la reivindicación 1, con las medidas:

- 10 i) introducción de una mezcla de gases precursores con contenido en amoníaco y oxígeno en la zona de entrada (1) de un reactor,
- 15 ii) aportación de la mezcla de gases precursores a una zona de reacción (2) con contenido en un catalizador (4) en condiciones tales que la mezcla de gases precursores en la zona de reacción (4) se hace reaccionar, en reacción exotérmica, en su totalidad o en parte para formar productos,
- 20 iii) evacuación del reactor del gas precursor a través de una zona de salida (3), y
- iv) habilitación de medios para reducir el transporte de calor de la reacción desde la zona de reacción (2) a la zona de entrada (1) en forma de al menos una camisa aislante (6) que aísla el recinto interno del reactor a la altura de la zona de entrada (1) o a la altura de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) frente al revestimiento de reactor (5) y al menos un dispositivo (7a, 7b, 27) para conducir un medio refrigerante en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y de la zona de reacción (2) que se encuentra en el revestimiento de reactor (5, 20) o en la pared interna del revestimiento de reactor(5, 20), y uso de un reactor cuyas paredes internas se componen de un material inerte en la región de la zona de entrada (1) o en la región de la zona de entrada (1) y la zona de reacción (2).

25 13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado por que la mezcla de gases precursores se emplea para la oxidación de amoníaco y el producto resultante se utiliza para la preparación de caprolactama y/o ácido nítrico.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 12 a 13, caracterizado por que se emplea un catalizador estructurado de forma alveolar, o por que el catalizador está presente en forma de un apilamiento de catalizador o de un empaquetamiento de catalizador y presenta una profundidad, vista en la dirección de flujo, de al menos 3 cm.

30 15. Uso del reactor según una de las reivindicaciones 1 a 11 para la oxidación de amoníaco, en donde el reactor está integrado preferiblemente en una instalación para la preparación de caprolactama o de ácido nítrico.

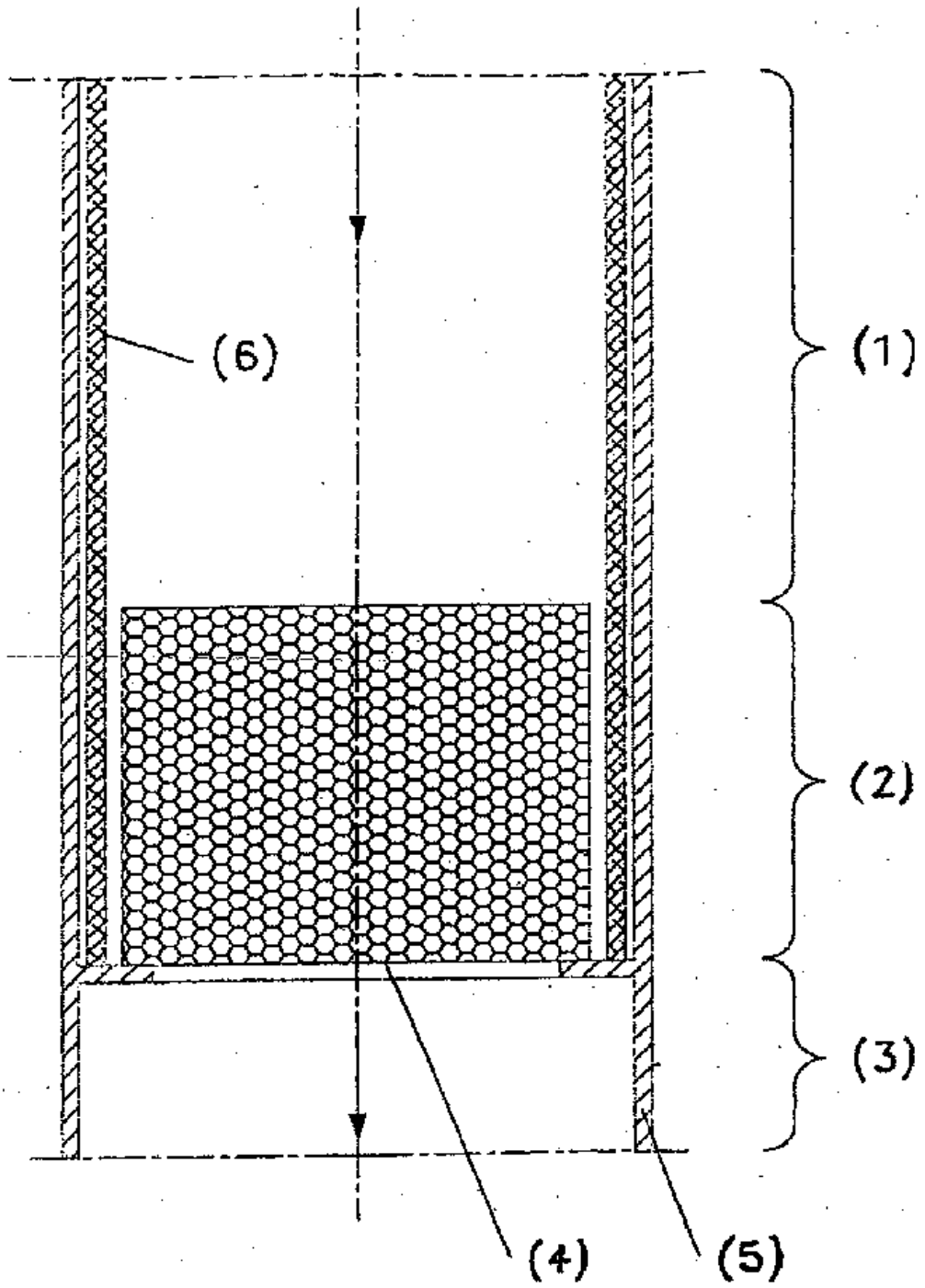


Figura 1

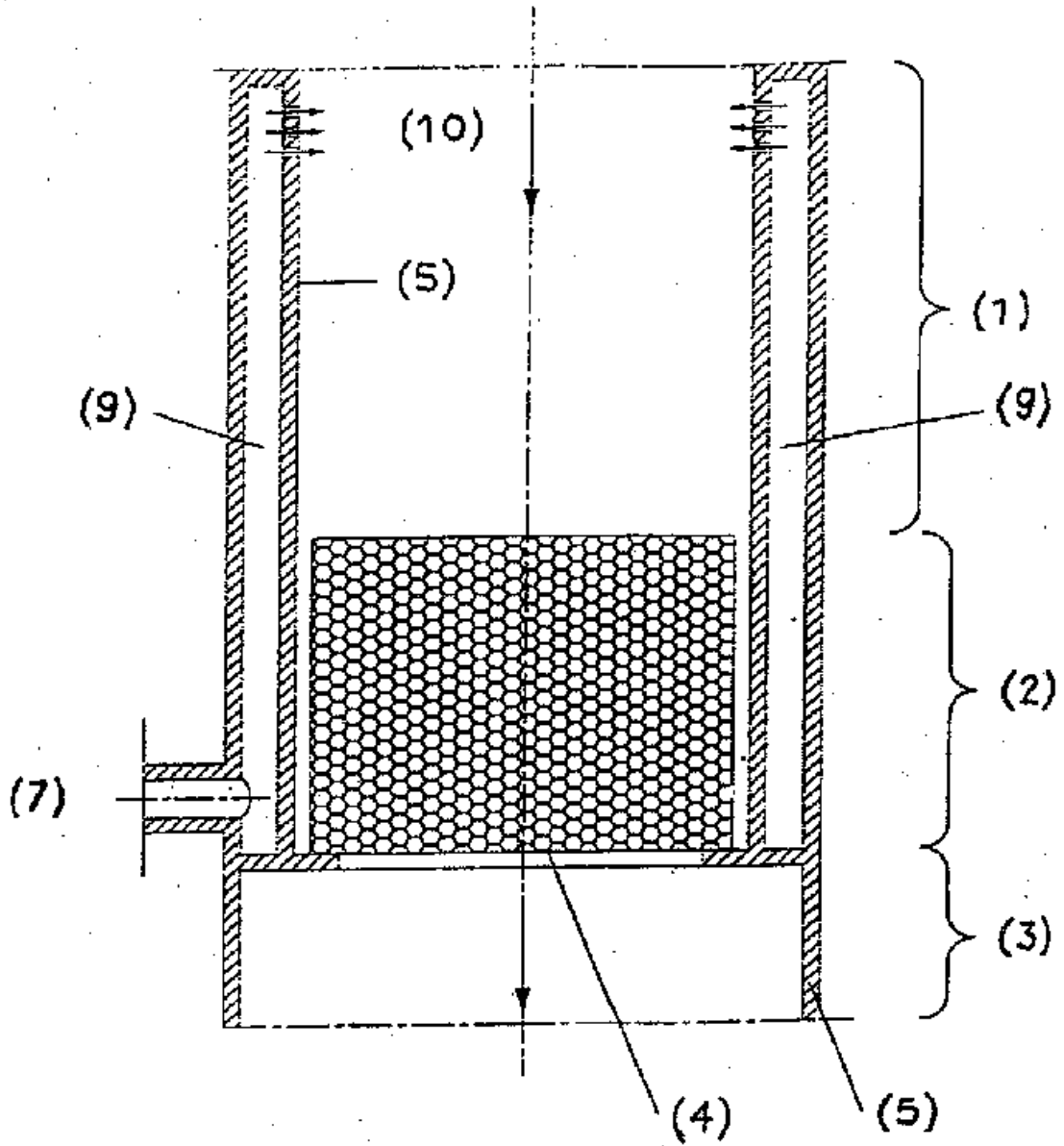


Figura 2

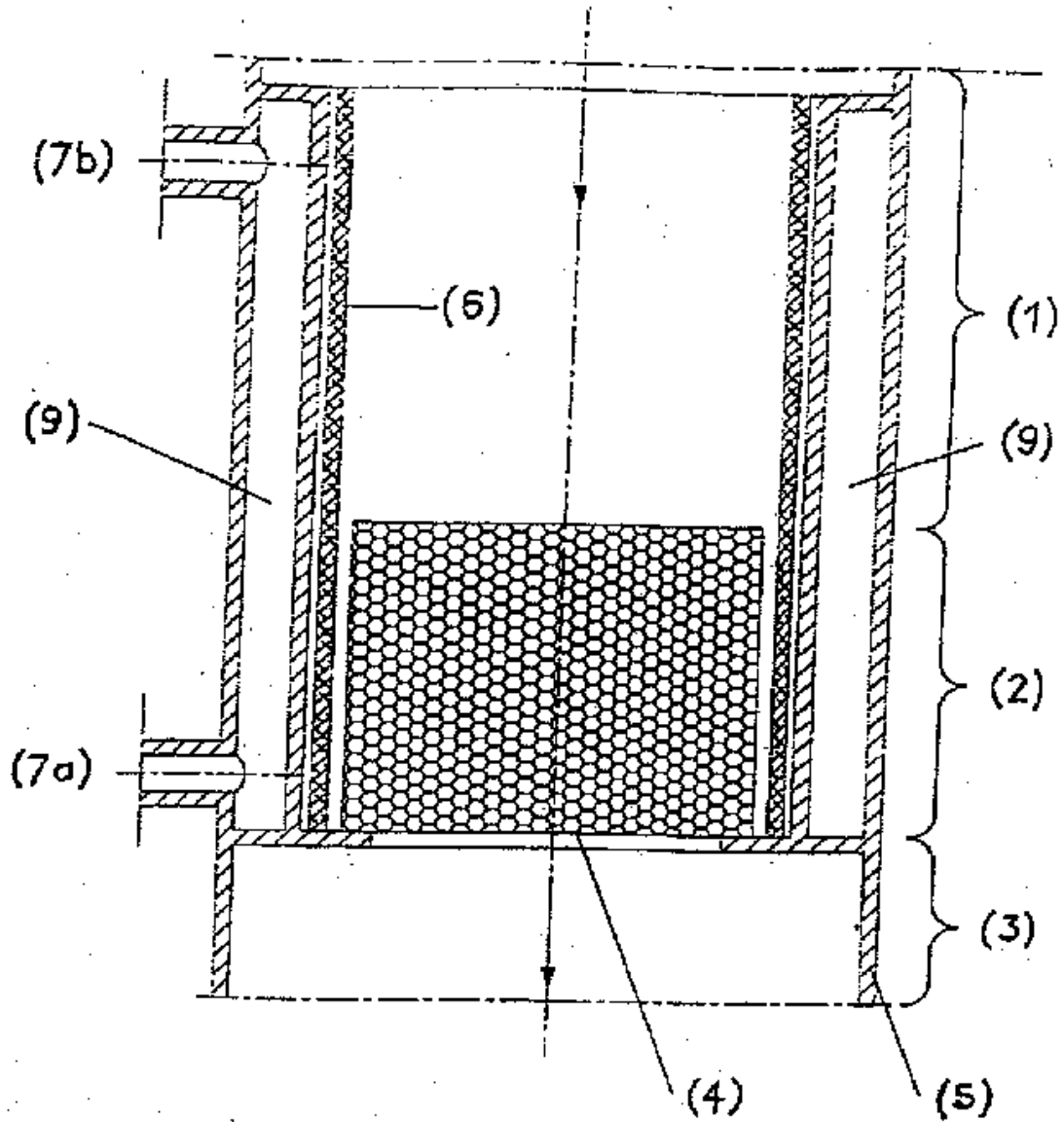


Figura 3

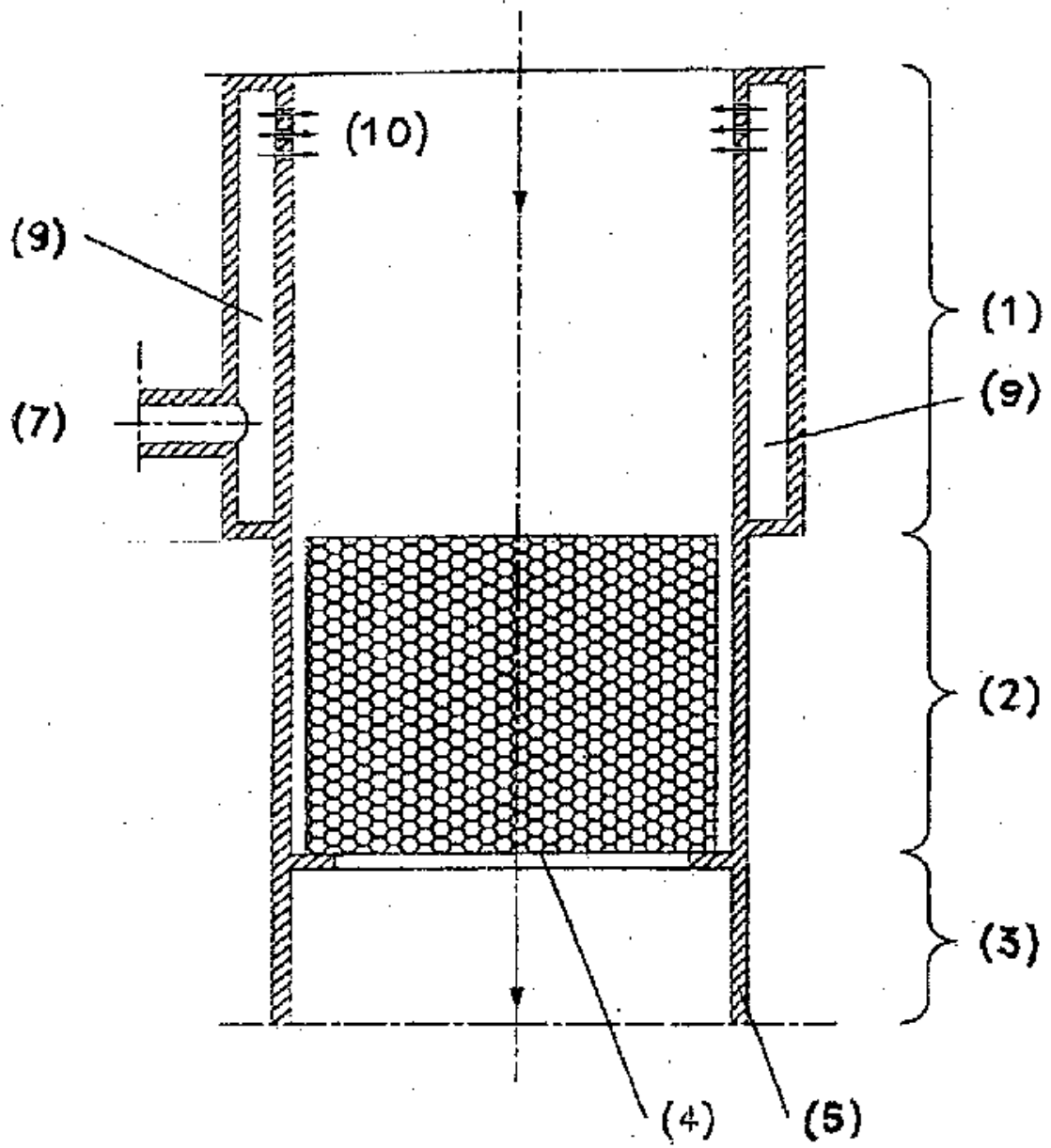


Figura 4

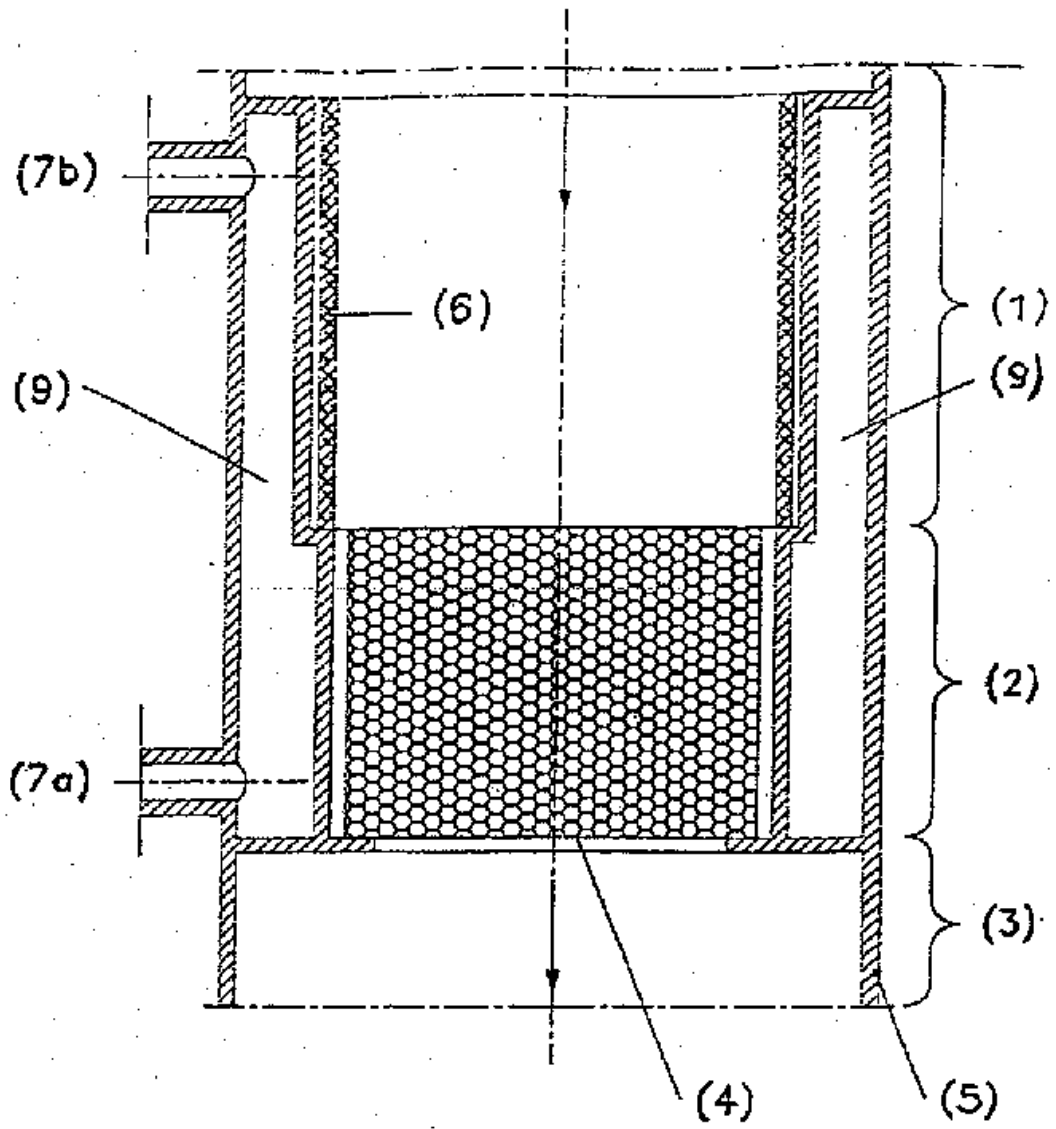


Figura 5

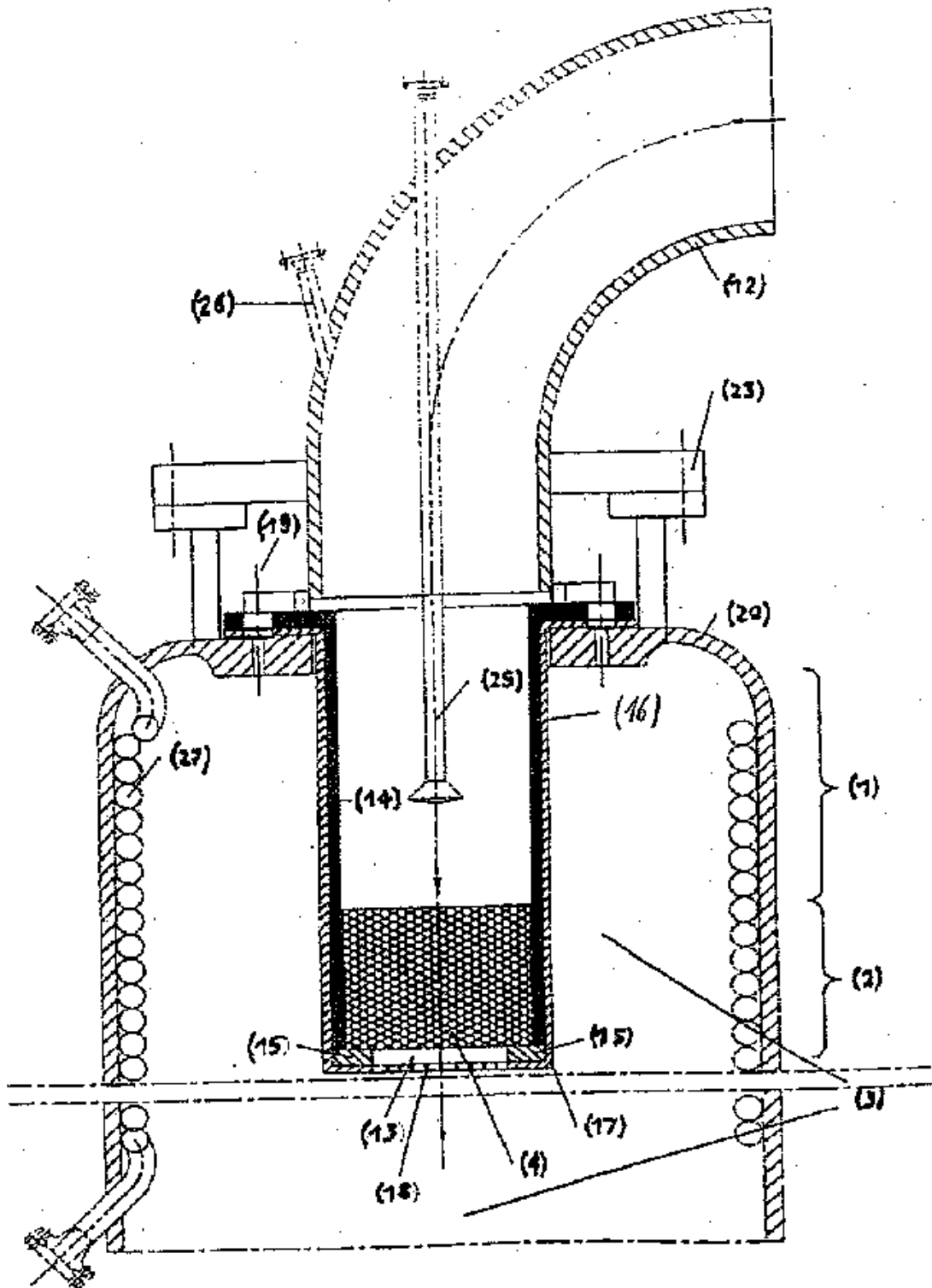


Figura 6

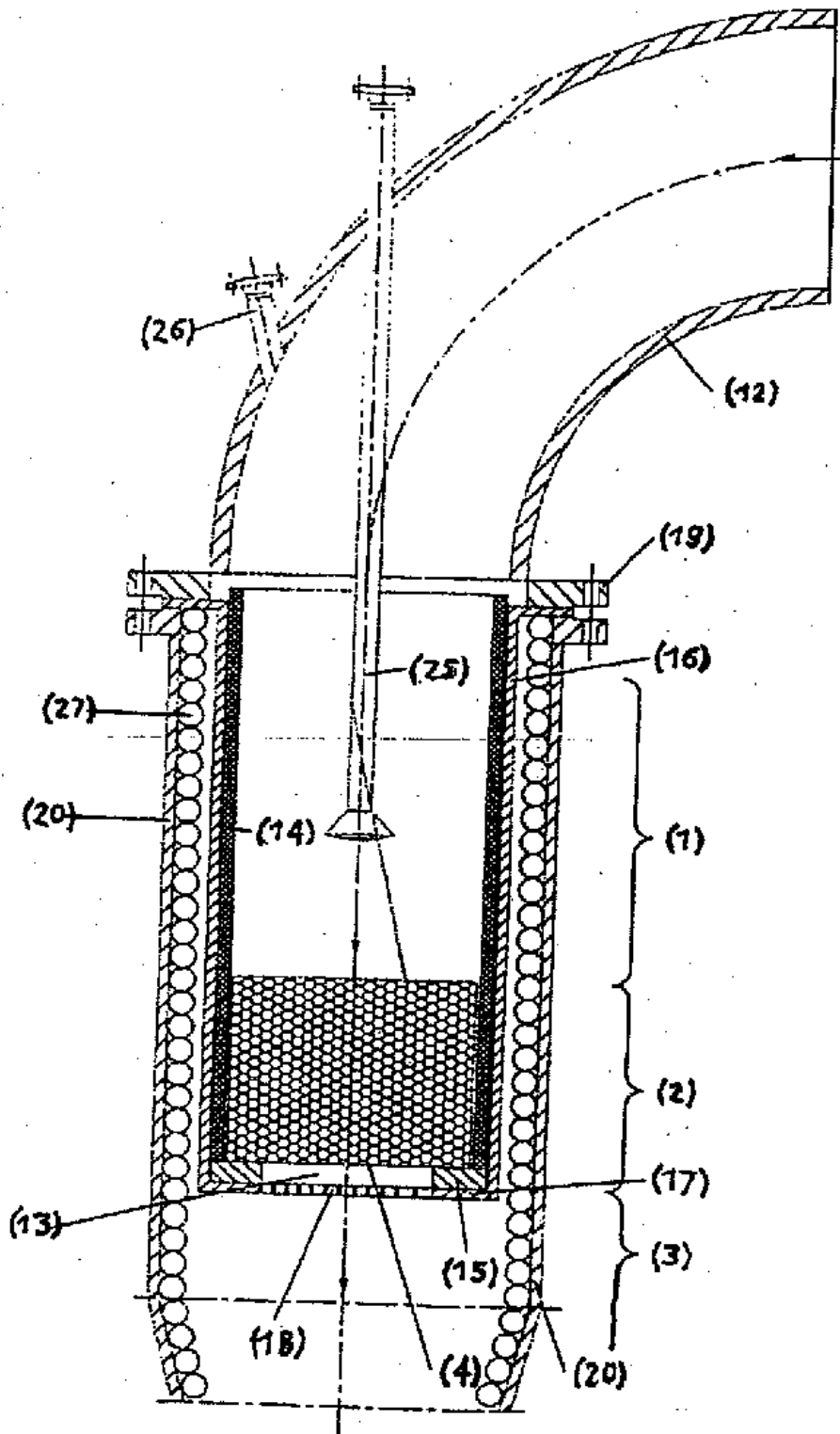


Figura 7