

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 557 888**

51 Int. Cl.:

**B01J 8/00** (2006.01)

**B01J 8/02** (2006.01)

**B01D 53/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.01.2011 E 11705073 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.11.2015 EP 2539062**

54 Título: **Reactor de flujo radial**

30 Prioridad:

**25.02.2010 US 712694**

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

**29.01.2016**

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)  
39 Old Ridgebury Road  
Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**ACKLEY, MARK, WILLIAM;  
CELIK, CEM, E.;  
NOWOBILSKI, JEFFERT, JOHN y  
SCHNEIDER, JAMES, STANLEY**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 557 888 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Reactor de flujo radial

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere en general al campo de las vasijas de reactor de flujo radial utilizadas en procesos de purificación, separación y reacción de gases, y que tienen conjuntos internos de cesta para retener material activo utilizado para eliminar y/o convertir uno o más componentes de una corriente de alimentación, por medio de adsorción y/o reacciones catalíticas o no catalíticas. Más específicamente, esta invención se refiere a un reactor de flujo radial que tiene una sección extraíble en la cesta interna con el fin de permitir la carga densa de una o más capas de materiales activos entre dos cestas concéntricas estructurales.

**10 Antecedentes de la invención**

15 La demanda de un mayor caudal de reactor continúa creciendo para una diversidad de procesos industriales relacionados con la recuperación de petróleo y gas, la producción de combustibles alternativos, la sostenibilidad del entorno y las emisiones de proceso. Tales demandas están en parte impulsadas por el coste, siempre creciente, del combustible y la necesidad de diversas materias primas químicas. Constituye un ejemplo la demanda de unidades de separación criogénica del aire (ASU, por sus siglas en inglés) de mayor tamaño para satisfacer las necesidades crecientes de grandes cantidades de oxígeno y nitrógeno que se utilizan en diversas industrias de procesos industriales. Las ASU requieren reactores de purificación (vasijas de adsorción) de entrada para purificar la corriente de aire de alimentación mediante la eliminación de dióxido de carbono, agua, trazas de hidrocarburos y otros contaminantes antes de que el aire entre en la ASU. Las ASU de mayor tamaño requieren mayores "unidades de prepurificación", como se las conoce comúnmente, para tratar el aire de alimentación entrante antes del proceso de destilación criogénica. Esto plantea un desafío para los diseñadores de reactores cuando tratan de controlar el tamaño del reactor, ya que un caudal superior de aire de alimentación requiere un aumento proporcional del área frontal de flujo proporcionada por las vasijas, lo que da lugar a vasijas de mayor tamaño y más costosas.

25 Los procesos de purificación, separación o reacción de gases que utilizan materiales activos tales como adsorbentes y/o catalizadores son bien conocidos en la técnica, y hoy en día están en uso diversos diseños de vasija de reactor para este tipo de procesos. Los ejemplos incluyen vasijas cilíndricas orientadas tanto vertical como horizontalmente, con flujo ascendente de aire a través del lecho de material adsorbente o reaccionante y/o material catalítico, durante la purificación, separación o reacción química. Un tercer tipo de vasija, tal como se emplea en este documento, está orientada con un eje central o longitudinal vertical y un diseño interno que dirige el flujo de gas de proceso radialmente a través del lecho. Este diseño de flujo radial se compone de una vasija a presión que encierra cestas interna y externa concéntricas, permeables a los gases, para contener un lecho de una o más capas de material activo. Tales diseños de flujo radial ofrecen la posibilidad de aumentar el área de flujo frontal mediante el incremento de la altura de la vasija, sin alterar sustancialmente la huella (superficie de suelo ocupada) de la vasija. Además, el diseño de flujo radial ofrece un medio más eficaz de aumentar el área de flujo en comparación tanto con los diseños de reactor de flujo horizontal como con los de flujo axial.

40 Los reactores de flujo radial trabajan típicamente de manera continua o en un modo cíclico, dependiendo del proceso de tratamiento de gas. Muchos procesos, tales como los procesos de adsorción, trabajan cíclicamente, ya sea en un modo de oscilación de presión (PSA, por sus siglas en inglés), oscilación de vacío (VSA), oscilación de temperatura (TSA) o en combinaciones de estos modos, en donde durante el paso de adsorción se adsorben uno o más componentes de la corriente de alimentación, y luego durante el paso de regeneración se desorben o se eliminan de otra forma del adsorbente. Las variaciones térmicas que acompañan a estos procesos cíclicos, como ocurre en los procesos TSA, afectan a componentes del lecho y de la vasija. Dependiendo de su configuración y de su modo de conexión a la vasija, los componentes internos se expanden y se contraen cuando se les expone a variaciones de temperatura, y por lo tanto experimentan cargas inducidas por estos cambios de temperatura. Tales cargas térmicamente inducidas crean tensiones mecánicas significativas sobre todos los elementos de los conjuntos internos de cesta, y la magnitud de tales cargas inducidas crece al aumentar la diferencia de temperatura. El desplazamiento axial y radial de las paredes de cesta también puede dar lugar a la compresión del lecho de material activo y a que las partículas de material puedan migrar o resultar dañadas como consecuencia del movimiento de la pared de cesta y sobre todo cuando tales materiales están empaquetados de manera suelta. En el peor de los casos, estos efectos pueden causar ruptura física del material activo y/o fallo mecánico de los conjuntos de cesta.

55 Típicamente, el material activo en forma de partículas que fluyen con facilidad se carga en un lecho por métodos tales como vertido, volcado o "carga mediante manga", creando un lecho empaquetado de manera suelta y carente de uniformidad, con huecos en exceso entre las partículas. Los lechos cargados mediante estas técnicas pueden experimentar un grado de reducción de volumen de 10% o más a causa de la sedimentación de las partículas. Tal sedimentación la hace posible el volumen de huecos en exceso, y es favorecida por una combinación de ciclos de flujo y temperatura, expansión y contracción de las cestas y fuerzas gravitatorias normales. Es deseable mitigar estos efectos mediante la maximización de la densidad de empaquetamiento y, al mismo tiempo, la minimización del exceso de volumen hueco. Por tanto, se prefiere cargar una vasija de una manera que origine un lecho uniforme y

empaquetado densamente de material o materiales activos en donde se minimice o incluso se elimine el potencial de sedimentación. Este método se conoce como "carga densa" o "empaquetamiento denso" y también se denomina así en la presente memoria. Los beneficios potenciales de la carga densa incluyen el aumento de la capacidad o caudal del reactor, la mejora del rendimiento y/o la calidad del producto y la eliminación de puntos calientes. Por otra parte, la carga densa automatizada es más segura, ya que evita situar operarios en el interior del reactor durante la carga.

Es deseable, además, cargar simultáneamente múltiples capas radiales discretas de diferentes materiales activos. Tales métodos de carga son generalmente conocidos para vasijas de flujo radial utilizadas para procesos PSA, véase, por ejemplo, la patente de EE.UU. n.º 5,836,362. En tales procesos no existen cargas térmicas inducidas significativas. La estructura de la cesta interna de tales vasijas de la técnica anterior está diseñada de manera que la cesta interna no está directamente unida al cabezal superior de la vasija. En consecuencia, el método de carga antes descrito se ve facilitado cuando se pueden extender uno o varios brazos rotatorios desde el eje central de la vasija (y de las cestas) hasta la pared interna de la cesta externa. Los brazos son libres para barrer de manera continua la totalidad de los 360 grados del espacio anular entre las cestas, a medida que se cargan el material o materiales activos para formar el lecho. Tal método de carga no se puede aplicar fácilmente a vasijas diseñadas para ciclos térmicos en donde la cesta interna está fija o conectada de otra forma al cabezal superior de la vasija, es decir, en donde la rotación libre de brazos en torno al eje central de la vasija se ve impedida por la presencia de la cesta interna que se extiende de manera continua. Por lo tanto, el primer problema a encarar es el deseo de cargar densamente material activo en un reactor de flujo radial diseñado para procesos con ciclos térmicos, en donde una cesta interna está unida de manera rígida y continua al cabezal superior de la vasija.

Los reactores de flujo radial requieren típicamente múltiples capas de materiales activos. Por ejemplo, en los procesos de prepurificación del aire se utilizan múltiples capas de adsorbente, por ejemplo alúmina para eliminar principalmente el H<sub>2</sub>O y tamices moleculares para eliminar principalmente el CO<sub>2</sub>, con el fin de reducir el consumo de energía al reducir la temperatura máxima de regeneración requerida y/o al disminuir la cantidad de gas de regeneración requerido. También pueden ser necesarias capas adicionales de adsorbentes, catalizadores u otro material activo cuando haya que eliminar otros contaminantes, tales como contaminantes para los cuales los materiales activos primarios del lecho no posean selectividad, capacidad o reactividad.

Se han empleado múltiples cestas para acomodar múltiples capas de materiales. Cuando se utilizan más de dos cestas estructurales, tanto la fabricación de la vasija como la carga del material o materiales activos se hacen significativamente más complejas y costosas. Además, las cestas internas fijadas de manera rígida transfieren tensiones adicionales al lecho que contiene los materiales activos debido a las cargas térmicas inducidas en estas cestas internas. Por lo tanto, un segundo problema a encarar es la necesidad de eliminar cestas adicionales entre la cesta más interna y la más externa.

Por lo tanto, existe una motivación significativa para mejorar el diseño mecánico de reactores de flujo radial con el fin de conseguir una mayor fiabilidad operativa, menor coste y una flexibilidad de proceso acrecentada, al tiempo que se continúa limitando la huella total de la vasija del reactor. Además, el presente reactor está diseñado para permitir un medio sencillo y eficaz de encarar los problemas estructurales inducidos por los efectos térmicos, al emplear solamente cestas estructurales interna y externa, y al proporcionar un medio para empaquetar densamente múltiples capas de adsorbente entre estas cestas.

Las enseñanzas de la técnica son variadas e inconsistentes con respecto al diseño de reactores de flujo radial; particularmente para vasijas sometidas a ciclos térmicos. Los diseños de reactor cilíndrico convencionales incluyen típicamente un conjunto interno de al menos dos cestas concéntricas de pared porosa, con el material activo contenido en el espacio anular formado entre estas cestas. Las cestas y el cuerpo de la vasija comparten generalmente el mismo eje longitudinal. Cuando se requieren múltiples capas de material activo en tales reactores de flujo radial, la técnica anterior emplea separadores porosos estructurales adicionales entre las capas de material activo, esto es, el uso de tres o más cestas concéntricas. No existen enseñanzas de cómo lograr la carga densa de adsorbentes en reactores de tipo de flujo radial que trabajen con ciclos térmicos y que tengan cestas fijadas de manera continua a la parte superior de la vasija del reactor. La técnica de patentes simplemente enseña verter o volcar el material activo a través de una manga o bien directamente a través de bocas de carga en la parte superior de la vasija.

La patente de EE.UU. n.º 4,541,851 describe, en una primera realización, una vasija que tiene dos capas concéntricas de adsorbente, estando cada capa contenida entre dos rejillas cilíndricas concéntricas. Tres rejillas cilíndricas son concéntricas en torno a un eje longitudinal que es el mismo que el de la vasija que las rodea. La rejilla intermedia es axialmente rígida y radialmente flexible, mientras que las rejillas interna y externa son axialmente flexibles y radialmente rígidas. Las tres rejillas están interconectadas rígidamente por su extremo superior al cuerpo de la vasija, e interconectadas rígidamente por su extremo inferior a una placa de fondo maciza flotante.

En una segunda realización se describe una vasija que tiene tres capas concéntricas de adsorbente y cuatro rejillas permeables. Las rejillas interna y externa son rígidas tanto en la dirección axial como en la dirección radial, y las dos rejillas intermedias son rígidas en la dirección axial y flexibles en la dirección radial. Las cuatro rejillas están interconectadas rígidamente al cuerpo por sus extremos inferiores. En esta configuración se pueden utilizar dos o

más capas de adsorbente. En ambas realizaciones, la vasija tiene aberturas utilizadas para el llenado y el vaciado de los lechos de adsorbente. Grenier, M., J.-Y. Lehman, P. Petit, "Adsorption Purification for Air Separation Units" en *Cryogenic Processes and Equipment*, compilado por P.J. Kerney, *et al.*, ASME, Nueva York (1984), describen detalles adicionales asociados a este diseño.

5 La patente de EE.UU. n.º 5,827,485 describe una vasija que contiene un lecho de adsorción anular que está limitado por cestas interna y externa. Se enseña una sola capa de adsorbente, que está contenida entre las dos cestas concéntricas permeables, que son ambas flexibles en la dirección axial y rígidas en la dirección radial. Al menos una de las cestas está asegurada rígidamente al extremo superior de la vasija. La cesta interna está conectada rígidamente por su extremo inferior a un elemento de soporte del fondo y adicionalmente apoyada sobre una tapa semiesférica inferior del cuerpo mediante nervios dispuestos en forma de estrella. La cesta externa se apoya directamente por su extremo inferior sobre la tapa de fondo. Existen aberturas para, aparentemente, el llenado (y la retirada) del adsorbente, aunque en el documento no se encuentra discusión alguna sobre las aberturas o el relleno. También U. von Gemmingen, "Designs of Adsorptive Dryers in Air Separation Plants", *Reports on Science & Technology*, 54: 8-12 (1994) describe detalles adicionales.

15 La patente de EE.UU. n.º 6,086,659 describe una vasija de adsorción de flujo radial que tiene una pluralidad de rejillas, en donde al menos una de las rejillas es flexible tanto en la dirección axial como en la dirección radial. Las rejillas están unidas rígidamente tanto a la parte superior de la vasija como a una placa de fondo. La placa de fondo puede ser flotante o bien estar unida de manera semirrígida o rígida al cabezal de fondo de la vasija. Se describen una o más rejillas intermedias como medio para contener diversas capas de adsorbente dentro de la vasija. La vasija tiene bocas de llenado para introducir y retirar adsorbente, pero no se encuentra ninguna discusión sobre el proceso de llenado.

25 La patente alemana n.º DE-39-39-517-A1 describe una vasija de flujo radial que tiene una sola capa de adsorbente contenida entre dos rejillas permeables concéntricas, que parecen ser ambas rígidas tanto en la dirección axial como en la dirección radial. La cesta externa está conectada rígidamente al extremo superior de la vasija y a una placa de fondo flotante. La cesta interna está conectada de manera flexible al extremo superior de la vasija mediante el uso de un fuelle de expansión o una guía deslizante. El extremo inferior de la cesta interna está conectado rígidamente a la placa de fondo flotante. Todo el conjunto de cestas está así suspendido del extremo superior de la vasija, siendo la cesta externa la que soporta el peso del conjunto y el adsorbente contenido en la misma. Se utilizan bocas para introducir y retirar el adsorbente.

30 La técnica de patentes enseña muchas variaciones dentro de configuraciones de diseño básicas en las cuales cestas internas, externas y/o intermedias, que tienen flexibilidades diversas, están unidas a la parte superior de la vasija, a la parte de fondo o a ambas partes. Las enseñanzas acerca de lechos multicapa utilizan una cesta intermedia adicional para cada capa adicional de material o adsorbente. Estas cestas intermedias son componentes estructurales que soportan las cargas y tensiones inducidas por los ciclos térmicos. La presencia de estas cestas intermedias no solo hace más complejos el diseño estructural y la fabricación del conjunto de cestas, sino que dificulta cargar adsorbentes y acceder y realizar el mantenimiento de componentes dentro de cada espacio anular. Tales diseños limitan la carga de adsorbentes al volcado, vertido o carga mediante manga, a través de bocas en la parte superior de la vasija, lo que origina un empaquetamiento suelto de materiales sujetos a movimiento y sedimentación durante el funcionamiento. La presencia de cestas intermedias origina espacios de menor volumen para la carga de materiales activos, aumentando aún más los huecos y reduciendo la densidad de empaquetamiento cuando se vierten o se vuelcan materiales activos en estos espacios. En consecuencia, el uso de capas estrechas o de pequeña profundidad queda limitado cuando se depende de métodos de carga con empaquetamiento suelto. Por tanto, no existe en la técnica enseñanza o dirección claras para el diseño de un reactor de flujo radial que mitigue o elimine estos problemas.

45 El presente reactor de flujo radial está diseñado de manera que la cesta o conjunto de cestas interno que contiene el lecho de material activo está apoyado rígidamente tanto en el extremo superior como en el extremo de fondo de la vasija. Las paredes de cesta son axialmente flexibles y radialmente rígidas, con el fin de minimizar el movimiento inducido térmicamente y controlar las tensiones y cargas, mitigando así el pandeo axial y radial de las cestas externa e interna. Se puede retirar temporalmente un manguito interno extraíble, cercano a la parte superior de la cesta interna, para crear una pequeña sección abierta en la cesta. Esta abertura permite el uso de uno o varios brazos de carga rotatorios para cargar densamente, ya sea una sola capa o bien simultáneamente múltiples capas de material activo. Después se vuelve a colocar el manguito extraíble para el funcionamiento normal del reactor. Cuando es deseable separar capas adyacentes de material activo, con el fin evitar pequeñas mezclas de materiales durante la carga, por ejemplo cuando son deseables capas muy delgadas, tal separación se logra empleando un material poroso flexible, no estructural, colocado en la interfase entre las capas.

La presente invención no sólo permite la carga densa uniforme de materiales activos en capas sencillas o múltiples, sino que también elimina la necesidad de cestas estructurales adicionales. El diseño de reactor de lecho radial de la invención permite la carga densa, tiene un funcionamiento más fiable y resulta menos costoso de fabricar.

**Breve compendio de la invención**

La presente invención es un reactor de flujo radial utilizado en procesos de separación de gases y en particular para la purificación del aire por adsorción y/o reacciones catalíticas o no catalíticas. El reactor tiene dos cestas internas porosas concéntricas que confinan dentro de las cestas y dentro del cuerpo cilíndrico al material activo, típicamente un sólido en forma de partículas que fluye con facilidad. Las cestas están apoyadas rígidamente tanto en el extremo superior como en el extremo de fondo de la vasija, y preferiblemente tienen paredes que son axialmente flexibles para minimizar las tensiones y cargas inducidas térmicamente y radialmente rígidas para contener y soportar el material activo. El reactor tiene un manguito interno extraíble, anejo a la parte superior de la cesta interna, que se puede retirar para permitir el uso de una técnica de carga densa. Se puede aplicar la técnica de carga densa, utilizando uno o varios brazos de carga rotatorios, para cargar una sola capa de material activo o bien cargar simultáneamente múltiples capas de materiales activos entre las cestas interna y externa.

Según una realización de la presente invención, se provee un reactor de lecho radial que comprende:

- (a) un cuerpo de vasija sustancialmente cilíndrico que tiene un eje longitudinal vertical, una tapa superior y una tapa inferior;
- (b) una placa de soporte de fondo dispuesta dentro del cuerpo y conectada a la tapa inferior;
- (c) una cesta externa porosa sustancialmente cilíndrica dispuesta concéntricamente dentro del cuerpo a lo largo del eje longitudinal y unida a la tapa superior y a la placa de soporte de fondo; y
- (d) una cesta interna porosa sustancialmente cilíndrica dispuesta concéntricamente dentro de la cesta externa porosa a lo largo del eje longitudinal y que tiene una sección sustancialmente maciza unida a la tapa superior de la vasija, una sección sustancialmente porosa unida a la placa de soporte de fondo, y una sección extraíble unida entre ambas.

**Breve descripción de los dibujos**

Para una comprensión más completa de la presente invención, debe hacerse referencia a la siguiente descripción detallada, tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la Figura 1 es una vista en sección transversal de la vasija de reactor de flujo radial según una realización de esta invención;
- la Figura 2 es un esquema de la vasija de reactor de flujo radial de la Figura 1, mostrando los caminos de flujo a través del reactor;
- la Figura 3 es una ilustración de las cestas internas y del lecho dentro de la vasija de reactor que se muestra en la Figura 1;
- la Figura 4 es la vista recortada de la pared de cesta mostrada en la Figura 2;
- la Figura 5 es una ilustración parcial de una pared de cesta con cedazo y lecho;
- la Figura 6 es una vista en sección transversal de la vasija de reactor de flujo radial de una segunda realización de esta invención, que muestra dos capas de adsorbente;
- la Figura 7 es una vista en sección transversal de la vasija de reactor de flujo radial según una realización de esta invención, con secciones de manguito interno retiradas y cargador y brazos de carga instalados para la carga densa de múltiples capas; y
- la Figura 8a es una vista lateral en sección transversal del manguito interno extraíble de la cesta interna y la Figura 8b es una vista superior del manguito interno que muestra tres secciones de manguito interno interconectadas.

**40 Descripción detallada de la invención**

Las Figuras 1-8 ilustran la estructura básica de una realización de la vasija a presión de flujo radial de esta invención y algunos de sus componentes. La vista en sección transversal de la Figura 1 ilustra las características esenciales de esta realización y de la invención, pero no muestra todos los medios de sujeción, conductos y detalles de aparato u otros aspectos de la invención que un experto en la materia entiende y a quien le son fácilmente evidentes. La Figura 2 es un esquema de la vasija, que muestra esencialmente las mismas características que la Figura 1 y, además, el camino de flujo a través de la vasija. Las Figuras no representan dimensiones reales.

Haciendo referencia a la Figura 1, se muestra un reactor (1) de flujo radial sustancialmente cilíndrico sobre un eje longitudinal vertical (20). La vasija tiene un cuerpo externo (2) con tapas (o cabezales, como se denominan generalmente en el sector) hemisféricas superior (3) e inferior (4). La tapa inferior (4) tiene entrada (6) para recibir un gas de alimentación y la tapa superior (3) tiene salida (5) para que salga el gas producto en el modo de adsorción/reacción normal. En los procesos de prepurificación, el aire atmosférico se introduciría a través de la entrada (6) y el aire tratado o purificado saldría por la salida (5).

Dentro del cuerpo (2) se encuentra un lecho (8) que contiene material activo que está confinado entre dos elementos de contención cilíndricos concéntricos, denominados en adelante "cestas" interna y externa (9, 10). La cesta interna (9) tiene dos secciones (9a y 9b) y la cesta externa 10 tiene dos secciones (10a y 10b) como se describirá más adelante. La disposición de cestas se entenderá mejor observando la Figura 3, que ilustra la relación espacial de la cesta interna (9), la cesta externa (10) y el lecho (8). El término "lecho", como se emplea en la presente memoria, describe tanto el espacio entre las cestas (9, 10) que contendrían el material o materiales activos, como el espacio con material o materiales activos presentes. Se prefiere utilizar sólo dos cestas orientadas concéntricamente en

torno al mismo eje longitudinal principal (20) de la vasija del reactor (1), de la manera que se muestra, porque ello simplifica el diseño estructural de las cestas (9, 10) y permite un fácil acceso a la totalidad del espacio anular del lecho (8) entre las cestas interna y externa para cargar y retirar el material activo. Durante el funcionamiento, se alimenta gas de proceso en una dirección sustancialmente radial a través del lecho (8) con respecto al eje de simetría longitudinal de la vasija del reactor.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 1, las cestas (9, 10) están fijadas rígidamente y cerradas en sus extremos de fondo o inferiores por la placa (7) de soporte de fondo, en donde los componentes combinados (7, 9 y 10) comprenden el conjunto de cesta que contiene el lecho (8). La placa (7) de soporte de fondo está fijada a columnas (12) de soporte. Las columnas (12) de soporte pueden ser estructuras unitarias o bien pueden estar divididas o constar de múltiples elementos, con medios para facilitar el movimiento hacia abajo de las cestas (9, 10) a fin de proporcionar tensión a las paredes de cesta. Tales columnas de soporte de elementos divididos y un método de pretensado que emplea tales columnas se enseñan en una solicitud de patente en tramitación junto con la presente, y presentada al mismo tiempo que esta solicitud. El diseño mostrado en la Figura 1 utiliza ocho columnas de soporte (cinco se muestran en la vista en sección transversal), aunque se pueden emplear menos o más columnas de soporte. Se prefiere el uso de al menos tres columnas de soporte.

El exterior de la cesta interna (9) y el interior de la cesta externa (10) representan las paredes delimitantes del lecho (8). Las paredes de las cestas (9, 10) están perforadas y son permeables en la mayor parte de su longitud (típicamente al menos 50% de la longitud de la cesta) a fin de permitir el flujo a través del lecho de material activo y a través del reactor en su conjunto. La fracción de la longitud de la cesta que es permeable no debe confundirse con el porcentaje de área abierta de las secciones permeables, por ejemplo el área abierta de las porciones perforadas de las paredes puede ser mayor o menor que 50%. Un experto en la materia apreciará que estas secciones permeables de las cestas (9, 10) pueden estar delimitadas por encima y/o por debajo por secciones no permeables macizas, con fines estructurales (por ejemplo por soldadura a las tapas superior e inferior), para definir el comienzo y el final de la región de flujo radial a través del lecho y para mitigar el desvío de flujo en torno a los extremos del lecho. La presente invención introduce secciones extraíbles en la parte superior de la cesta interna (9) con el fin de permitir la carga densa del material o materiales activos.

La cesta interna (9) consta de sección (9a) sustancialmente maciza y sección (9b) sustancialmente permeable a los gases, para formar la estructura completa de la cesta interna. La sección maciza (9a) de la cesta interna (9) está fijada por su extremo superior a la tapa superior (3) de la vasija (1), y por su extremo inferior a la sección (9b) permeable a los gases de la cesta interna (9), y contiene una sección extraíble (22) entre ambas. Como se muestra en la Figura 6 y se describirá con mayor detalle más adelante, la sección extraíble (22) consta de tres elementos individuales de manguito interno sustancialmente rígidos (22a, 22b, 22c) que, cuando están conectados entre sí, forman un cilindro, que preferiblemente se superpone a las secciones de 9a por encima y por debajo de la sección extraíble 22 con el fin de facilitar la conexión a la misma. Aunque la sección extraíble (22) se muestra aquí consistente en tres elementos separados y rígidos (22a, 22b, 22c), como se prefiere, se pueden utilizar más o menos elementos. La sección maciza (22) de la cesta interna (9) es extraíble para permitir el uso de brazos de carga rotatorios a través del espacio creado por la retirada de la misma. La tapa superior (3) tiene bocas (14) y escotilla (16), como se muestra en la Figura 1, ubicadas de una manera y con una separación uniformes sobre el lecho anular (8) para llenar "hasta arriba" el lecho de material o materiales activos una vez que se han retirado los brazos de carga y para permitir el acceso de personal de mantenimiento. Se pueden emplear múltiples bocas o escotillas en cualquier configuración adecuada.

La cesta externa (10) consta de sección (10a) sustancialmente maciza y sección (10b) sustancialmente permeable a los gases, para formar la estructura completa de la cesta externa como se muestra en la Figura 1. La sección maciza (10a) de la cesta externa (10) está fijada por su extremo superior a la tapa superior (3) de la vasija (1), y por su extremo inferior a la sección (10b) permeable a los gases de la cesta externa (10).

Las paredes verticales de las cestas (9, 10) están perforadas a lo largo de una mayor parte de su longitud para hacerlas permeables al flujo de gases y para impartir características estructurales de manera que las cestas consigan flexibilidad axial y rigidez radial con el fin de minimizar su movimiento y controlar las tensiones y cargas que se inducen térmicamente durante el funcionamiento. Preferiblemente, las secciones permeables de las paredes de cesta se fabrican utilizando chapas metálicas perforadas, soldadas y enrolladas en forma de cilindros. El metal es típicamente acero o aleación de acero, seleccionado en base a requisitos de propiedades físicas, facilidad de perforación, resistencia a la corrosión, soldabilidad y coste. Como un experto en la materia comprenderá, el grosor de los materiales de la pared de cesta depende de diversas consideraciones estructurales, y el material seleccionado y su grosor no tiene por qué ser el mismo para las cestas interna y externa. No obstante, el grosor típico de la pared de cesta está entre 3 mm y 35 mm.

Haciendo referencia ahora a las Figuras 8a y 8b, el manguito interno (22a) y dos manguitos internos (22b, 22c) idénticos constituyen la sección extraíble maciza (22) de la sección maciza (9a) de la cesta interna, y están diseñados para encajar dentro del canal central en el interior de la cesta interna (9) entre la sección porosa (9b) y la tapa superior (3). Los manguitos internos (22a, 22b, 22c) están curvados de manera que, cuando se unen uno con otro, forman un cilindro concéntrico uniforme que puede estar fijado de manera extraíble a la sección (9a) con el fin de formar una parte integral y estructural de la cesta interna (9). Cada uno de los manguitos internos (22a, 22b, 22c)

tiene cartelas (23) de izado opcionales y medios de sujeción tales como pernos para conexión a las mismas. Como se muestra en la sección recortada de la Figura 8b, cada manguito interno, en este caso 22a, tiene preferiblemente un reborde elevado (24) en un extremo distal, para superponerse al extremo distal del elemento (22c) al que se acopla y para permitir que el elemento al que se acopla se interconecte ajustadamente con el fin de evitar huecos o espacios.

Como un experto en la materia comprenderá, se pueden emplear variaciones de este diseño que se ilustra. Por ejemplo, aunque se prefieren tres elementos de manguito, se pueden emplear uno o más elementos, por ejemplo un elemento de una sola pieza deslizante. Además, se pueden emplear medios o configuraciones de conexión alternativos para encajar juntos los manguitos y se pueden utilizar diversos medios de izado para maniobrar los manguitos. Además, aunque por facilidad de uso se prefiere que los elementos de manguito estén fijados de manera extraíble a la cara interna de las secciones de la cesta interna que se acoplan, y dentro del canal central, los manguitos extraíbles pueden estar fijados de manera extraíble a la cara externa de las secciones que se acoplan o bien formar una sola pieza con la superficie externa de la cesta interna, con medios de conexión apropiados, sin apartarse del concepto de la invención. Se comprenderá, además, que todas las uniones entre los manguitos y entre los manguitos y la sección (9a) de la cesta interna deben estar obturadas para evitar la fuga de gases entre el lecho y el canal central de la cesta interna, utilizando métodos y materiales obturadores que son comúnmente conocidos en la técnica, tales como, por ejemplo, juntas para altas temperaturas, selladores, etc.

Haciendo referencia de nuevo la estructura general de cesta, un experto en la materia reconocerá que aunque las paredes de cesta deben ser permeables a los gases o porosas (estar perforadas) para permitir el flujo de fluido, el tamaño, forma y orientación particulares de los orificios o perforaciones influirá en la flexibilidad direccional de las paredes de cesta. Aunque con esta invención se pueden emplear diversos patrones de perforación, se establece la geometría de perforación con el fin de proporcionar simultáneamente: (1) área abierta suficiente para una permeabilidad de flujo uniforme con baja resistencia al flujo gaseoso, (2) permitir una flexibilidad axial y rigidez radial suficientes para mantener la integridad estructural bajo la influencia de cargas térmicamente inducidas y (3) mantener la estabilidad de la cesta interna cuando se han quitado las secciones extraíbles durante la carga densa de la vasija.

Por ejemplo, y como se ilustra mejor en las Figuras 2 y 4, se sabe que un diseño de perforación ranurada, con ranuras alargadas (40) escalonadas y orientadas de manera horizontal o tangencial con respecto al eje vertical (longitudinal) de la vasija, confiere flexibilidad axial (véase la flecha 42) y rigidez radial (véase la flecha 41). La rigidez radial se consigue gracias a las periódicas bandas o cintas continuas de metal macizo que se extienden en torno a la circunferencia de la pared de cesta. Por el contrario, no hay ninguna tira o cinta ininterrumpida de metal macizo en la pared de cesta en la dirección axial (vertical), debido a la configuración escalonada de ranuras (40) orientadas horizontalmente. Tal configuración es importante cuando las cestas interna (9) y externa (10) están fijadas tanto a la parte superior como al fondo de la vasija, como ocurre en la presente invención. Por tanto, a temperaturas más altas las ranuras (40) se comprimen para absorber la expansión axial, aliviando algo de la tensión de compresión axial que se produciría en caso contrario. Sin embargo, esta flexibilidad axial (determinada por el módulo de elasticidad eficaz) no debe ser tan grande como para permitir el pandeo de la pared de cesta debido a tensiones de compresión axial, también denominado en la presente memoria "pandeo axial". Aunque son posibles muchas geometrías de perforación distintas, un experto en la materia sabrá qué geometrías se deben seleccionar para permitir un área de flujo abierta suficiente y, al mismo tiempo, proporcionar un módulo de elasticidad efectivo del material de cesta que dé lugar a la flexibilidad axial y rigidez radial deseadas. Para los fines de la presente invención, se prefiere la configuración general de perforaciones ranuradas que se muestra en la Figura 4, pero las dimensiones específicas de las ranuras y las separaciones entre las mismas deben seleccionarse en función del material de cesta específico y el grado de flexibilidad estructural deseado.

También se ha encontrado mediante análisis estructural que preferiblemente se añaden y se unen a la cesta interna (9) nervios rigidizantes (32) para mitigar el pandeo debido a la presión externa aplicada por el material activo, también denominado en la presente memoria "pandeo radial." Típicamente, los nervios rigidizantes (32) son soportes estructurales hechos de metal u otro material rígido (preferiblemente con las mismas características de dilatación térmica que el material de la cesta interna) que se colocan en la pared interna de la cesta interna (9) de modo que cada nervio se sitúa en un plano horizontal y se extiende de manera continua en torno a la circunferencia de la cesta interna (9). Los nervios (32) están espaciados a intervalos regulares para aumentar la rigidez de la cesta, con el fin de resistir las fuerzas de presión radial resultantes de los ciclos térmicos de las cestas y el lecho encerrado. La rigidez adicional proporcionada por los nervios sirve también para estabilizar y mantener la sección transversal circular de la cesta interna cuando se retira el manguito interno (22).

El material activo puede estar contenido y/o dividido adicionalmente dentro del lecho (8) mediante el uso de materiales porosos y flexibles, metálicos u otros. Por ejemplo, se pueden utilizar cedazos para forrar las paredes metálicas perforadas de las cestas cuando las perforaciones o ranuras son mayores que el tamaño de partícula del material activo, tal como se ilustra en la Figura 5. La Figura 5 muestra una configuración preferida en donde la pared de la cesta interna (9b) está hecha de una chapa metálica perforada en contacto con cedazo (30) en contacto con lecho (8) que contiene material activo (17). Aunque no se muestra, el lado opuesto del lecho (8) estaría en contacto con la pared interna de la cesta externa (10), que también puede tener un cedazo entre ambos. También se pueden emplear cedazos similares para separar diferentes materiales activos en dos o más capas dentro del lecho (8), si se

desea. Los cedazos son flexibles y no están destinados a soportar cargas axiales significativas, y pueden estar hechos de materiales metálicos o no metálicos tejidos o no tejidos, tales como cedazos de alambre, malla de tela, malla de metal expandido, espuma de celda abierta, materiales poliméricos y similares.

5 Dependiendo del tipo de proceso de tratamiento de gas, es posible que, de una manera cíclica repetitiva, haya que regenerar a intervalos regulares el material sólido activo. Durante este proceso se introduce un gas de regeneración en la vasija, y fluye radialmente a través del lecho de material activo antes de salir. El camino del flujo de regeneración es normalmente inverso al camino del flujo de alimentación. Para vasijas de reactor de la presente invención, los gases fluyen siempre radialmente a través del material activo, con independencia de por dónde entren en la vasija los gases de alimentación y de regeneración.

10 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 2, el gas de alimentación entra al fondo del reactor (1) por la entrada (6) y es dirigido a un canal externo formado entre el cuerpo (2) y la pared externa de la cesta externa (10). Después, el gas de alimentación fluye radialmente a través de la sección de pared permeable de la cesta externa (10), a través del lecho (8) y del material activo, y sale a través de la sección de pared permeable de la cesta interna (9) a un canal central alineado con el eje vertical de la vasija del reactor (1). El gas producto (o gas purificado) sale de la vasija del reactor (1) a través de la salida (5) de la vasija (1), como se muestra. La vasija del reactor (1) puede estar diseñada para hacer que el gas de alimentación entre ya sea a la parte de fondo, entrada (6), o a la parte superior, salida (5), de la vasija, de manera que el flujo radial de gas de proceso a través del lecho (8) puede ser o bien hacia dentro o bien hacia fuera, respectivamente. Típicamente, los procesos cíclicos dirigen los flujos de alimentación y de regeneración en contracorriente entre sí, por ejemplo, si el flujo de alimentación se dirigiese radialmente hacia dentro, entonces el flujo de regeneración estaría dirigido radialmente hacia fuera.

20 Cuando los reactores de flujo radial como en la presente invención se utilizan conjuntamente con un paso de regeneración por oscilación térmica, o con otros procesos cíclicos térmicos para limpiar o reactivar material catalítico, las cestas internas se contraen y se expanden al disminuir y aumentar respectivamente la temperatura del proceso de tratamiento gaseoso, como se ha descrito. Tales expansiones y contracciones térmicas de las cestas se producen tanto radial como axialmente con respecto al eje longitudinal de la vasija de reactor, induciendo tensiones en las cestas y en todos los componentes internos y los medios accesorios. En la presente invención, las cestas están restringidas por la parte superior y el fondo de la vasija. Bajo ese soporte restringido, dentro de las paredes porosas de cesta se desarrollarán tensiones internas significativas en respuesta a las variaciones cíclicas de temperatura.

25 Una de las ventajas principales de fijar el conjunto de cesta interna a ambos extremos de la vasija reside en que se evita sustancialmente el desplazamiento axial de las cestas durante los ciclos térmicos. Cuando las cestas están apoyadas solo por un extremo, el extremo no apoyado se desplazará de manera significativa durante cada ciclo térmico. Este desplazamiento promueve el movimiento relativo del material activo, lo que origina fractura (abrasión) y mezcla en la interfase de dos capas de diferentes materiales. La cesta interna queda apoyada temporalmente en su extremo inferior por la placa de soporte de fondo y los soportes de columna cuando se retira el manguito interno (22) para cargar el material activo en la vasija. Después de la carga, se vuelve a colocar el manguito, y nuevamente la cesta interna queda apoyada rígidamente en ambos extremos de la vasija.

30 La presencia de material activo genera fuerzas radiales adicionales sobre las paredes de cesta debidas a la expansión y contracción térmicas. El lecho compuesto de partículas sólidas resulta comprimido cuando la cesta interna se expande y cuando la cesta externa se contrae, radialmente. Este lecho de partículas de material activo actúa como una resistencia a tal compresión y empuja en sentido contrario sobre las paredes de cesta. Los materiales de cesta deben seleccionarse con un bajo coeficiente de expansión térmica. No obstante, no se puede evitar la expansión radial de las cestas cuando aumenta la temperatura.

35 A pesar de un diseño estructural que minimice la expansión y contracción térmicas, y las cargas y tensiones inducidas asociadas, sobre el conjunto de cesta y sus componentes, debe minimizarse el movimiento relativo de las partículas de material activo, y esto se facilita de la mejor manera por el empaquetamiento denso del material activo cuando se carga por primera vez en la vasija. El empaquetamiento denso, como se emplea en la presente memoria, se refiere a la dispensación deliberada y controlada de partículas de material o materiales activos, al permitir que las partículas adquieran una velocidad suficiente para que las partículas individuales sean impelidas hacia la superficie superior del lecho, con lo que, tras el impacto con la misma, se consigue un empaquetamiento uniforme de las partículas en todo el lecho con un espacio hueco mínimo entre las partículas. El empaquetamiento denso se logra mediante el control de parámetros de la carga de material tales como el caudal y la distribución de las partículas, la distancia mínima entre el distribuidor de carga y la parte superior del lecho, y la velocidad de rotación del brazo o brazos distribuidores. Tales métodos de carga densa contrastan con los métodos típicos de "empaquetamiento suelto" de la técnica anterior, en donde se vuelca el material activo a granel a través de una boca o una manga, y este se extiende por fluencia a lo largo de la superficie del lecho. Estos empaquetamientos sueltos se caracterizan por una menor densidad de empaquetamiento (incluso 10% inferior) y mayor fracción de huecos en comparación con los métodos de carga densa a que se hace referencia en esta invención.

40 Los métodos de carga densa adoptados dentro de la presente invención se han descrito en general en la patente de EE.UU. n.º 5,836,362 para vasijas de flujo radial utilizadas en procesos de PSA, donde los efectos térmicos están

ausentes o son mínimos. En tales procesos no existen cargas térmicas inducidas significativas. La estructura de cesta interna de tales vasijas de la técnica anterior está diseñada de manera que la cesta interna no está directamente unida al cabezal superior de la vasija. La carga de material activo no se ve estorbada por la presencia de una pared maciza de cesta interna que se extiende hasta el cabezal superior de la vasija, sino que, en lugar de ello, se pueden extender uno o varios brazos rotatorios desde el eje central de la vasija (y las cestas) hasta la pared interna de la cesta externa, sin alterar el diseño estructural de la vasija. Los brazos de carga son libres para barrer de manera continua toda la circunferencia de 360 grados del espacio entre las cestas, durante la carga del material o materiales activos. Tal método de carga no se puede aplicar fácilmente a vasijas diseñadas para ciclos térmicos y que tienen una cesta interna conectada al cabezal superior de la vasija. En este caso, la presencia de la cesta interna concéntrica continua y la conexión rígida a la tapa superior (3) impedirían la libre rotación de brazos en torno al eje central de la vasija.

También se presenta a menudo la necesidad de utilizar diferentes materiales activos, siendo cada material activo selectivo hacia uno o más contaminantes específicos que se deban eliminar o hacer reaccionar del gas de alimentación para generar el producto deseado con pureza aceptable. En un reactor de flujo radial, generalmente se dispersan diferentes materiales activos en capas radiales concéntricas como se ilustra en la Figura 6, donde las capas (8c, 8d) constituyen el lecho. Cada capa contiene un diferente material activo o mezcla de materiales activos, que se requiere para lograr la separación o reacción deseada. Como se ha discutido más arriba, el enfoque de la técnica anterior para satisfacer esta necesidad de múltiples capas en reactores de flujo radial ha sido utilizar cestas estructurales adicionales, de manera que cada capa de material está contenida entre dos cestas concéntricas adyacentes. La presente invención evita la necesidad de utilizar cestas estructurales adicionales mediante el uso de la sección extraíble (22), compuesta de elementos (22a, 22b, 23c) de manguito, de la cesta interna (9), y permite así el uso de un método rotatorio de carga densa descrito más arriba y tal como se representa en la Figura 7.

La Figura 7 muestra el cargador y otros componentes de carga en su lugar en la parte superior de la vasija, y con la sección extraíble (22) retirada. Tolvas (84, 86) de carga que contienen materiales activos (88c, 88d) alimentan el cargador (80) que a su vez dirige un flujo de cada material a canales separados situados dentro de cada uno de los brazos (82) de carga. Cuando se ha completado la carga densa de los materiales activos, se retiran el cargador (80) y los brazos (82) de carga y otros componentes, y se vuelve a colocar la sección extraíble (22). Se vuelven a conectar todos los elementos (22a, 22b, 22c) de manguito de la sección extraíble (22) y se obturan con un sellador para altas temperaturas, con el fin de evitar cualquier intercambio gaseoso a través de la cesta interna en las secciones macizas (no porosas) de la cesta.

El uso del método de carga densa permite dispersar de manera continua, uniforme y simétrica materiales activos de diferente tipo o tamaño, en capas radiales con o sin un separador físico. Es preferible cargar tales capas sin ningún separador físico. Para capas radiales relativamente delgadas y/o cuando solo se puede tolerar una mínima mezcladura, o bien ninguna en absoluto, en las capas de interfase de los materiales, se puede proveer un límite no estructural entre los materiales 8c y 8d en forma de un cedazo flexible poroso. Un cedazo de este tipo tiene una capacidad insignificante para soportar cargas radiales o axiales aplicadas, y sirve sólo como un límite físico en la interfase de las capas. Los materiales separadores porosos aceptables pueden ser del tipo tejido o del tipo no tejido, por ejemplo tela, cedazo flexible de alambre, material polimérico, cedazo de metal expandido, espuma de celda abierta, etc. Tales materiales no estructurales deben seleccionarse con baja resistencia al flujo y suficiente resistencia al calor generado en el proceso.

Cuando se va a utilizar un separador físico, se conforma en un cilindro y se coloca en la interfase entre dos capas adyacentes de materiales activos. Para materiales autoportantes, tales como cedazos de alambre o de metal expandido, simplemente se une el cilindro formado a la placa de soporte del fondo. Este cilindro (no mostrado) se extiende hacia arriba hasta cerca de la parte superior de la vasija, terminando por debajo del plano barrido por los brazos de carga rotatorios. Para tela u otros cedazos no autoportantes, el separador de forma cilíndrica (que tampoco se muestra) está unido a la placa de soporte del fondo y se extiende o se estira firmemente para unirse a una serie de riostras dispuestas de una manera y con una separación angular uniformes, y conectadas entre las cestas interna y externa cerca de la parte superior de la vasija, pero por debajo del plano barrido por los brazos de carga rotatorios. El cedazo flexible tiene la ventaja de que se puede arriar o retirarlo para acceder a los cedazos con fines de mantenimiento si fuera necesario.

El conjunto de cesta está diseñado con secciones (9a, 10a) de pared maciza de cesta conectadas a secciones (9b, 10b) permeables al flujo, de las cestas interna y externa, respectivamente, como se muestra en la Figura 1. Estas secciones macizas sirven para varios propósitos, por ejemplo para proporcionar una extensión suficiente de las paredes de cesta con el fin de llegar a la tapa superior (3) y conectarse rigidamente a la misma, como una terminación de las secciones permeables de las paredes de cesta, con el propósito de limitar el flujo radial a través del lecho a la región definida por el cuerpo (2) de la vasija situada entre las tapas superior (3) e inferior (4), y para proporcionar un volumen por encima de las paredes permeables de cesta con la finalidad de cargar material activo o inerte adicional destinado a evitar que el flujo eluda el lecho (8). La Figura 7 muestra el lecho (8) cargado hasta el extremo superior de las secciones permeables al flujo de las cestas (9b, 10b). Se prefiere continuar cargando de manera densa el material activo en el volumen delimitado por las paredes macizas (9a, 10a) de cesta y entre la parte superior de la parte permeable del lecho (8), indicada por la flecha (90), y la punta del brazo (82) de carga, indicado por la flecha (92). Si no se llena este volumen, y queda vacío como se muestra en la Figura 7, entonces existe un

camino de baja resistencia para que el flujo eluda el material activo en la parte superior del lecho, es decir, se permite que una parte de la corriente de alimentación pase relativamente sin tratar a la corriente de producto.

5 Después de la carga densa, se retiran los brazos (82) de carga, las bajantes (81), los cargadores (80) y las tolvas de alimentación (84, 86) y se vuelven a instalar todos los elementos (22a, 22b, 22c) de manguito de la sección extraíble (22). Dependiendo de la distancia entre la parte superior (90) de la parte permeable del lecho y la punta (92) del brazo de carga, puede ser deseable llenar "hasta arriba" manualmente las capas de material activo con materiales activos o inertes adicionales a través de bocas (14) de llenado y/o escotillas (16) mostradas en la Figura 6, para aumentar aún más la resistencia a la derivación y/o para llenar el espacio hueco entre el lecho densamente cargado y la tapa superior (3). En la Figura 6 se muestra un ejemplo de dicha carga por encima de las secciones permeables de las cestas. Un experto en la materia apreciará que todavía se puede añadir más material activo para llenar parcial o completamente el espacio hueco restante hasta la tapa superior (3). Dado que el material o materiales activos están predominantemente cargados densamente no habrá sedimentación significativa de estos materiales en las regiones permeables de las cestas. Esto evita la necesidad de parar la instalación transcurrido el tiempo inicial de funcionamiento cíclico, abrir el reactor y añadir más materiales activos (lo que se conoce como llenar "hasta arriba"), que es común en reactores donde no se han cargado densamente los materiales activos.

Aunque esta invención es particularmente adecuada para reactores de flujo radial que tienen solo una cesta interna y una externa, y las cestas están rígidamente fijadas a la parte superior y al fondo de la vasija, también es aplicable a cualquier reactor de flujo radial con uno o más cestas internas o intermedias (es decir, situadas dentro de la cesta más externa) unidas físicamente a la parte superior de la vasija.

20 La invención no está limitada a ningún proceso en particular, y se puede poner en práctica con reactores de flujo radial que contengan materiales activos y estén diseñados para el uso en procesos de tratamiento de gases cíclicos y no cíclicos, de naturaleza reactiva, de adsorción o de separación. Son ejemplos de tales procesos reacciones catalíticas o purificaciones a temperatura ambiente o elevada, en estado estacionario, separaciones por adsorción cíclicas tales como adsorción por oscilación de presión (PSA), adsorción por oscilación de temperatura (TSA) o combinaciones de estas. Aunque esta invención es aplicable a capas simples y dobles de materiales activos, utilizando el diseño y los métodos descritos en la presente memoria se pueden cargar tres o más capas. Las capas pueden estar compuestas de adsorbentes, catalizadores, materiales o materiales compuestos reactivos o inertes, mezclas u otras combinaciones de los mismos. Se puede instalar una capa de material de alta densidad inerte, por ejemplo, bolas de cerámica, en cualquiera de los lados, o entremedias del conjunto de cesta, pudiendo funcionar una capa de este tipo como un regenerador térmico.

El material activo sólido puede ser un material adsorbente, catalizador o reaccionante consistente en partículas sólidas que fluyan con facilidad, en forma de esferas (perlas), cilindros ("pellets"), gránulos irregulares, etc. El material activo se selecciona para el proceso particular empleado, y se conocen una amplia gama de materiales.

35 Para procesos de purificación o separación del aire se utiliza material adsorbente, y este es típicamente un material de tamiz molecular de tipo zeolita tal como se conoce y está disponible comercialmente. El material adsorbente utilizado en el lecho adsorbente puede estar compuesto por una sola capa, o por una configuración de dos o más capas, donde la primera capa (por ejemplo alúmina activada) más cercana a la entrada de alimentación elimina agua del gas de alimentación y la segunda capa (por ejemplo tamiz molecular de zeolita) adsorbe un componente gaseoso seleccionado, tal como dióxido de carbono en la purificación del aire o nitrógeno en la separación del aire, y se puede utilizar una tercera capa para adsorber o hacer reaccionar uno o más contaminantes traza (como CO o N<sub>2</sub>O), y así sucesivamente. Preferiblemente, el material adsorbente o activo está empaquetado densamente, con el fin de minimizar la sedimentación del adsorbente y otros movimientos de las partículas, y para maximizar la eficiencia de los procesos.

45 Debe ser evidente para los expertos en la materia que la presente invención no está limitada por los ejemplos proporcionados en la presente memoria, que se han proporcionado meramente para demostrar la operatividad de la presente invención. El alcance de esta invención incluye realizaciones equivalentes, modificaciones y variaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un reactor (1) de lecho radial que comprende:
  - a) un cuerpo (2) de vasija sustancialmente cilíndrico que tiene un eje longitudinal vertical (20), una tapa superior (3) y una tapa inferior (4);
  - 5 b) una placa (7) de soporte de fondo dispuesta dentro del cuerpo (2) y conectada a la tapa inferior (4);
  - c) una cesta externa porosa sustancialmente cilíndrica (10) dispuesta concéntricamente dentro del cuerpo (2) a lo largo del eje longitudinal (20) y unida a la tapa superior (3) y a la placa (7) de soporte de fondo; y
  - d) una cesta interna porosa sustancialmente cilíndrica (9) dispuesta concéntricamente dentro de la cesta externa porosa (10) a lo largo del eje longitudinal (20) y que tiene una sección sustancialmente maciza (9a) unida a la tapa superior (3) de la vasija, una sección sustancialmente porosa (9b) unida a la placa (7) de soporte de fondo, y una sección extraíble (22) unida entre ambas.
- 10 2. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 en donde está distribuida al menos una capa de material activo (17) en torno al eje longitudinal (20) en el espacio anular formado entre las cestas interna y externa (9, 10).
- 15 3. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 en donde la sección extraíble (22) es un manguito interno (22a, 22b, 22c) con medios para ser fijado de manera extraíble a la cara interna de la sección sustancialmente maciza (9a).
4. El reactor de lecho radial según la reivindicación 3 en donde la sección extraíble (22) forma una estructura de cesta interna continua cuando está fijada a la sección sustancialmente maciza (9a).
- 20 5. El reactor de lecho radial según la reivindicación 3 en donde la sección extraíble (22) consta de múltiples elementos.
6. El reactor de lecho radial según la reivindicación 5 en donde la sección extraíble (22) consta de 3 elementos (22a, 22b, 22c).
7. El reactor de lecho radial según la reivindicación 5 en donde los elementos (22a, 22b, 22c) están conectados para formar un cilindro concéntrico uniforme dentro de, y unido a, la cesta interna (9).
- 25 8. El reactor de lecho radial según la reivindicación 7 en donde cada elemento (22a, 22b, 22c) tiene medios para interconectar con el fin de reducir así espacio o huecos entre los elementos.
9. El reactor de lecho radial según la reivindicación 8 en donde cada elemento (22a, 22b, 22c) tiene en un extremo distal un reborde (24) para superponerse al extremo distal del elemento (22a, 22b, 22c) al que se acopla.
- 30 10. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 en donde las cestas interna y externa (9, 10) son axialmente flexibles y radialmente rígidas.
11. El reactor de lecho radial según la reivindicación 10 en donde las paredes de las cestas (9, 10) están hechas de chapas metálicas perforadas.
12. El reactor de lecho radial según la reivindicación 11 en donde las chapas perforadas incluyen ranuras alargadas (40) que están escalonadas y orientadas horizontalmente con respecto al eje vertical (20) de la vasija.
- 35 13. El reactor de lecho radial según la reivindicación 11 en donde están colocados cedazos (30) entre el lecho (8) y la cesta interna (9), entre el lecho (8) y la cesta externa (10), o ambas cosas.
14. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1, en donde están colocados nervios rigidizantes (32) sobre la pared interna de la cesta interna (9) en un plano horizontal, y se extienden en torno a la circunferencia de la cesta interna.
- 40 15. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 en donde están dispuestas al menos tres columnas (12) de soporte entre la placa (7) de soporte de fondo y la tapa inferior (4).
16. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 en donde las columnas (12) de soporte constan de dos elementos.
- 45 17. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 en donde la sección porosa (9b) de la cesta interna (9) representa al menos 50% de la estructura total de la cesta interna.
18. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 que comprende al menos dos capas de material activo (17) contenidas entre la cesta interna (9) y la cesta externa (10) distribuidas de una manera continua y uniforme, y orientadas de manera que todo el gas que se va a procesar pasa a través de ambas capas y en donde las capas de

material activo están situadas de manera que los materiales activos de dos capas adyacentes están en contacto directo entre sí en la interfase entre dichas capas adyacentes.

5 19. El reactor de lecho radial según la reivindicación 1 que comprende al menos dos capas de material activo (17) contenidas entre la cesta interna (9) y la cesta externa (10) distribuidas de una manera continua y uniforme, y orientadas de manera que todo el gas que se va a procesar pasa a través de ambas capas y en donde capas adyacentes del material activo están separadas por un cedazo flexible, que no soporta carga.

10 20. Un método para cargar densamente un reactor (1) de lecho radial que tiene un cuerpo (2) de vasija sustancialmente cilíndrico con un eje longitudinal vertical (20), una cesta externa porosa sustancialmente cilíndrica (10) dispuesta concéntricamente dentro del cuerpo a lo largo del eje longitudinal, una cesta interna porosa sustancialmente cilíndrica (9) concéntricamente dentro de la cesta externa porosa a lo largo del eje longitudinal;  
a) con las cestas interna y externa (9, 10) unidas a la parte superior y al fondo del cuerpo y que forman un lecho para contener material activo entre las cestas interna y externa; y  
b) en donde la cesta interna (9) incluye una sección extraíble (22) cerca de la parte superior del cuerpo, comprendiendo el método:  
15 1) retirar la sección extraíble (22) de la cesta interna (9); y  
2) cargar densamente una o más capas de materiales activos (88c, 88d) en la circunferencia del lecho a través de la abertura creada por la retirada de la sección extraíble (22) utilizando un cargador (80) y después volver a instalar la sección extraíble (22) antes del funcionamiento.

20 21. El método según la reivindicación 20 en donde el cargador (80) dirige un flujo de material activo a canales separados.

22. El método según la reivindicación 21 en donde el cargador (80) tiene al menos un brazo (82) que puede barrer toda la circunferencia de 360 grados del lecho través de la abertura creada por la retirada de la sección extraíble (22).

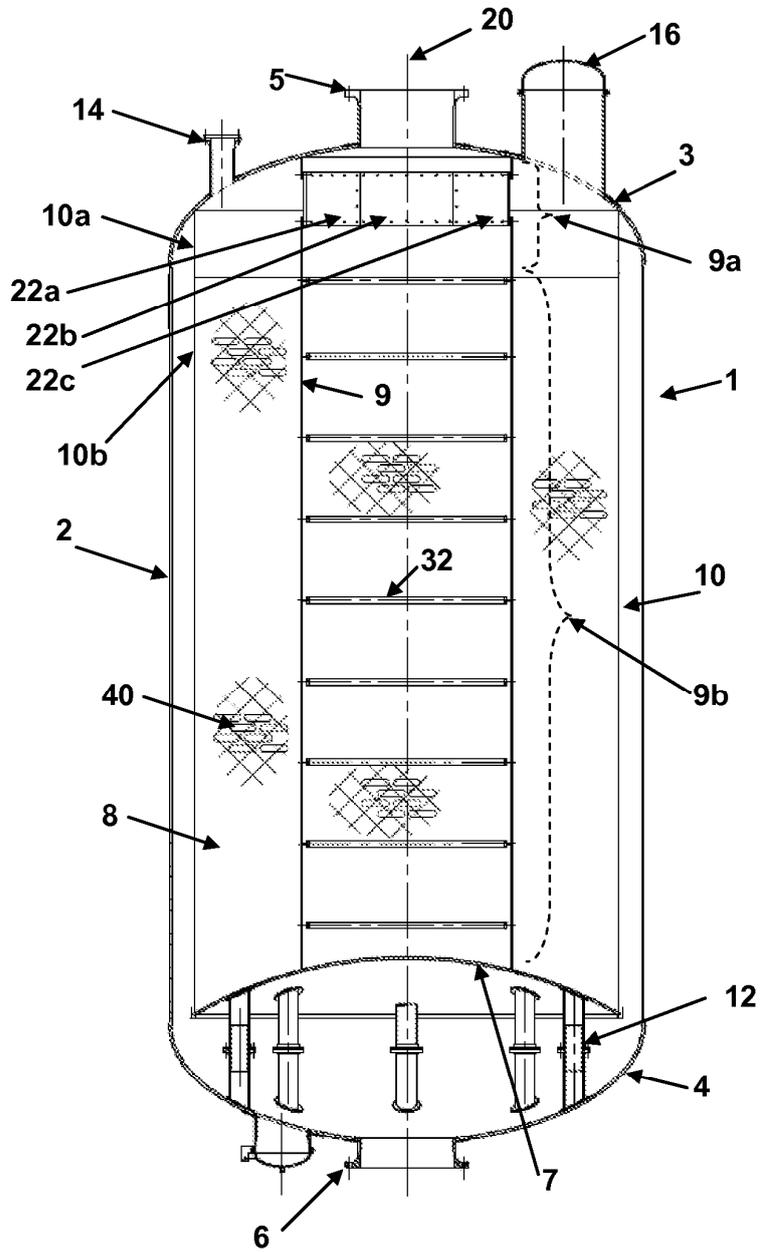
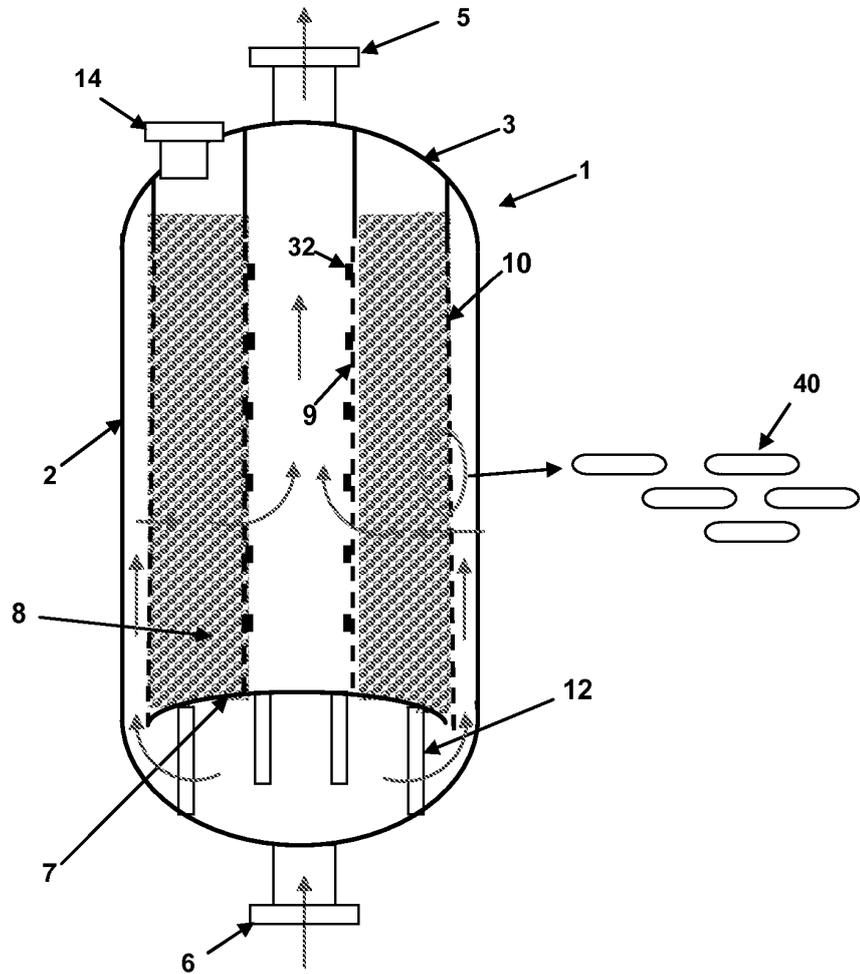
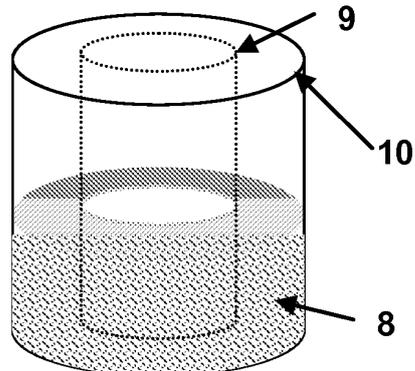


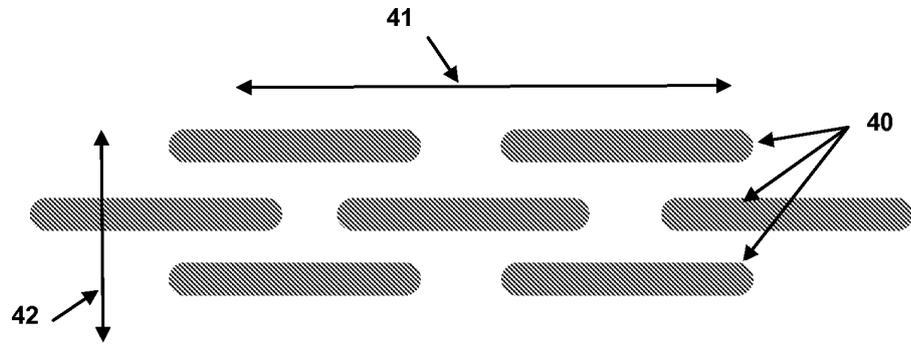
FIG 1



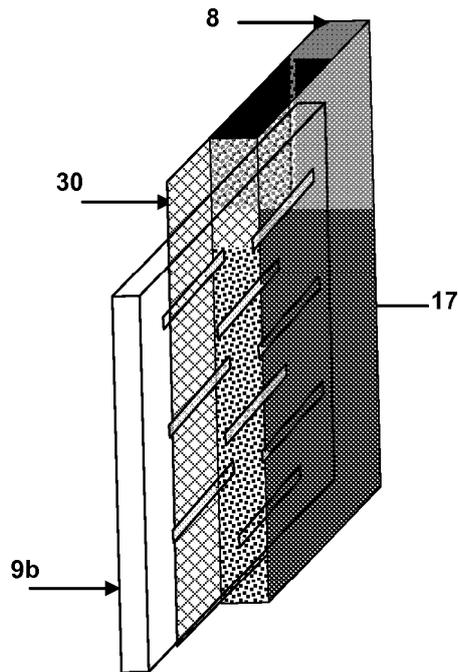
**FIG 2**



**FIG 3**



**FIG 4**



**FIG 5**

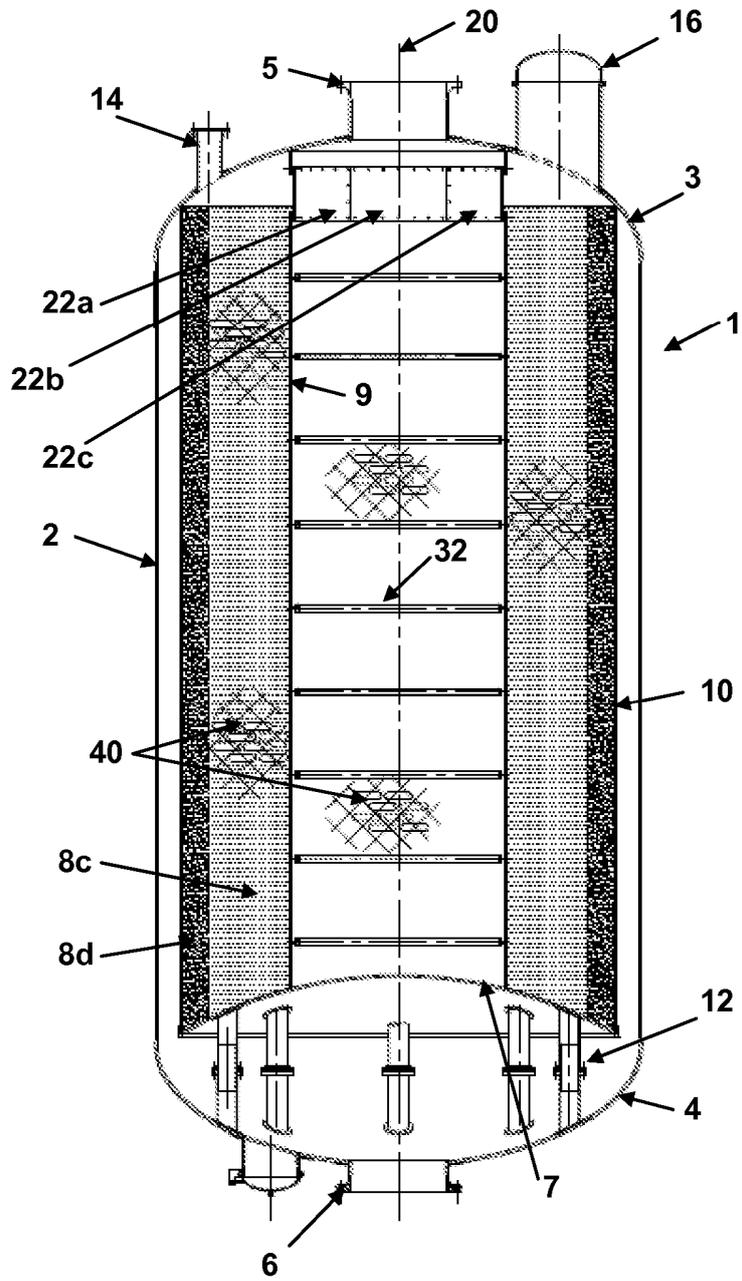
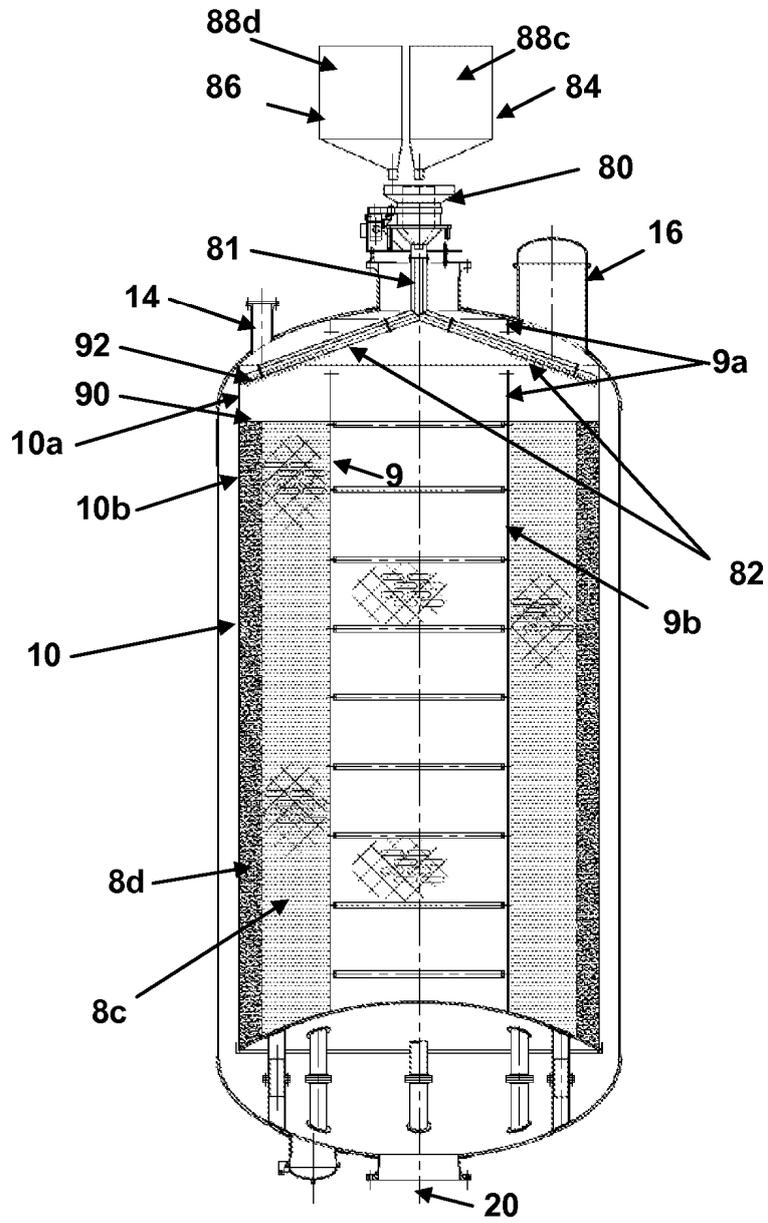
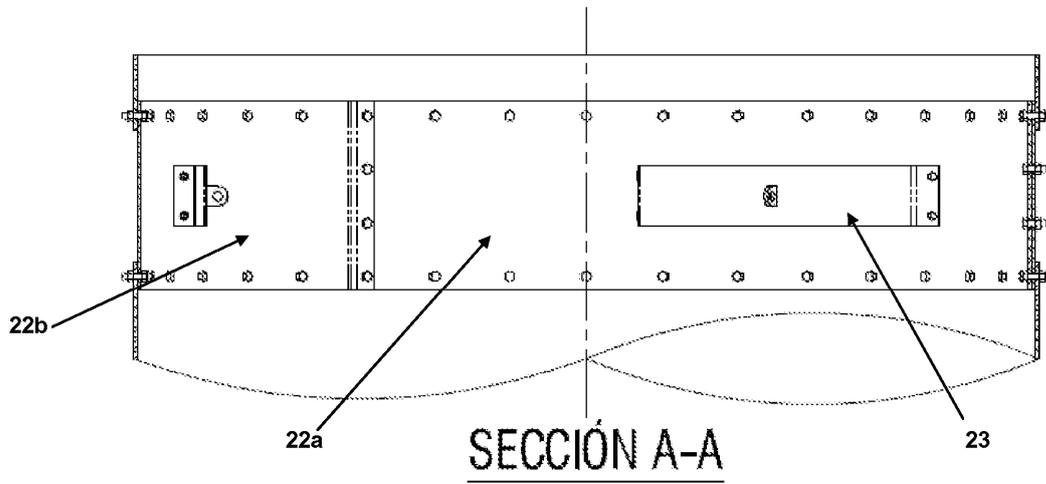


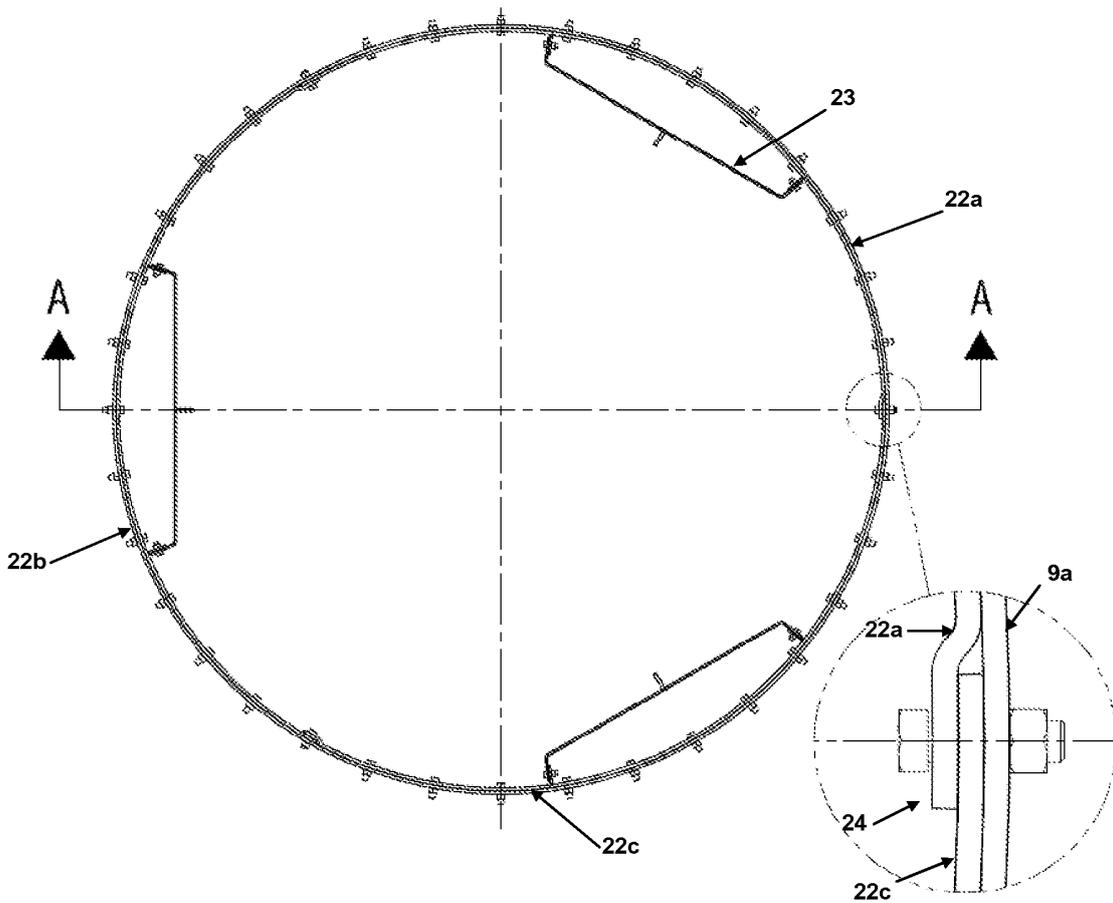
FIG 6



**FIG 7**



**FIG 8a**



**FIG 8b**