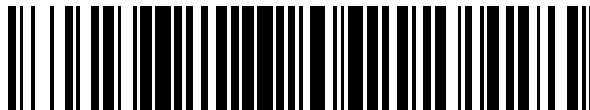


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 856**

51 Int. Cl.:
F16K 11/085 (2006.01)
B01D 53/047 (2006.01)
F16K 11/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07110712 .2**
96 Fecha de presentación: **21.06.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **1872845**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.01.2008**

54 Título: **Sistema de adsorción de oscilación de presión con válvulas de múltiples orificios giratorios indexados**

30 Prioridad:
22.05.2007 US 751866
30.06.2006 US 817715 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.11.2012

73 Titular/es:
AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 HAMILTON BOULEVARD
ALLENTOWN PA 18195-1510, US

72 Inventor/es:
RARIG, DAVID LESTER;
WHITLEY, ROGER DEAN y
LABUDA, MATTHEW JAMES

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 391 856 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

Sistema de adsorción de oscilación de presión con válvulas de múltiples orificios giratorios indexados

5 Los procesos de adsorción de oscilación de presión (PSA) se usan ampliamente para la separación de las mezclas de gas basándose en las etapas de adsorción-desorción utilizando uno o más recipientes que contienen unas sustancias adsorbentes selectivas que efectúan la separación deseada. Un sistema de PSA comprende típicamente unos recipientes de sustancia adsorbente, compresores, bombas de vacío, múltiples válvulas, tubería, depósitos de almacenamiento de gas y un sistema de control para accionar las válvulas para proporcionar las etapas de proceso
10 cíclico requeridas. Unas porciones significativas del coste de capital y los gastos de mantenimiento de los sistemas de PSA pueden atribuirse a las múltiples válvulas y al sistema de control requeridos para accionar estas válvulas para las etapas de múltiples ciclos en un proceso de PSA.

15 Los sistemas de PSA son competitivos con los sistemas de destilación criogénica para separar el aire para producir oxígeno a unas capacidades de hasta aproximadamente 100 toneladas por día (TPD). Los costes de capital han de controlarse y reducirse para que estos sistemas de PSA sigan siendo competitivos a la vista de las cambiantes necesidades del mercado y los crecientes costes energéticos. Como resultado de las recientes mejoras en la tecnología de sustancias adsorbentes, puede reducirse el tamaño y la complejidad de los sistemas de PSA de oxígeno para volverlos transportables, y los sistemas con unas capacidades de producto de hasta 1 TPD pueden transportarse con facilidad sobre patines y ponerse en servicio en las instalaciones de cliente en un tiempo mínimo. La modularización de estos sistemas de PSA pequeños requiere una reducción de la complejidad de los componentes, una fiabilidad mejorada y un menor coste de capital.

25 Los documentos US 2005/0132881 A1, EP 1 420 197 A1 y EP 1 752 204 A1 dan a conocer unos sistemas de PSA de cuatro lechos en conexión sólo con unas válvulas de múltiples orificios giratorios que comprenden un rotor con una cara de rotor que puede girar alrededor de un eje perpendicular a la cara de rotor, en los que se proporcionan unas aberturas de válvula sobre la cara de rotor que es llana y perpendicular al eje de rotación. El documento US 6 143 056 A da a conocer un sistema de PSA de dos lechos con una válvula rotativa en el extremo de alimentación. La válvula rotativa es del tipo de flujo radial en el que las aberturas para controlar el flujo de fluidos se proporcionan en
30 unas superficies de válvula circunferencial que son opuestas entre sí en la dirección radia. El flujo a través de los extremos de producto de los lechos se controla mediante unas válvulas de bloqueo de conmutación. Otro sistema de PSA de dos lechos se conoce a partir del documento GB 2 190 014 A. El flujo de fluidos del presente sistema se controla mediante una válvula rotativa en los extremos de alimentación y una válvula rotativa en los extremos de producto de los lechos, siendo ambas válvulas del tipo de flujo radial. Las válvulas pueden conmutarse entre tres posiciones diferentes, en total. Éstas están cargadas por resorte en una intermedia de las tres posiciones y pueden girarse, o bien en el sentido de las agujas del reloj hacia la derecha o bien en el sentido contrario al de las agujas del reloj hacia la izquierda de las tres posiciones. El documento US 7 037 358 B2 se refiere a un sistema de PSA que comprende un tambor giratorio que se subdivide en la dirección circunferencial en unos elementos de adsorbente, siendo el tambor el único recipiente del sistema de PSA. El tambor es un miembro de válvula giratorio o cuerpo de
40 válvula estacionario de una válvula rotativa de tipo de flujo radial.

Hay una necesidad en la técnica de simplificar las válvulas y los sistemas de control en los sistemas de PSA, en particular en los sistemas modularizados pequeños. Un objeto de la invención es la provisión de un sistema de PSA con una capacidad aumentada, pero no obstante con una baja complejidad y a unos menores costes de capital.

45 La invención se refiere a un sistema de adsorción de oscilación de presión que comprende (a) más de dos recipientes, teniendo cada recipiente un extremo de alimentación, un extremo de producto y material de sustancia adsorbente adaptado para adsorber uno o más componentes a partir de una mezcla de gas de alimentación de múltiples componentes; (b) una tubería adaptada para introducir la mezcla de gas de alimentación en los extremos de alimentación de los recipientes, una tubería adaptada para retirar un gas de producto a partir de los extremos de producto de los recipientes, una tubería adaptada para colocar los extremos de producto de cualquier par de recipientes en una comunicación de flujo y una tubería adaptada para retirar un gas de desecho a partir de los extremos de alimentación de los recipientes; (c) un tubo de alimentación adaptado para suministrar la mezcla de gas de alimentación al sistema, un tubo de producto adaptado para retirar el gas de producto del sistema y un tubo de gas de desecho adaptado para retirar el gas de desecho del sistema; y (d) una válvula de múltiples orificios giratorios indexados adaptada para colocar el extremo de producto de cada recipiente en una comunicación de flujo
50 secuencial con el extremo de producto de cada uno de los otros recipientes.

60 Preferiblemente, la invención incluye un sistema de adsorción de oscilación de presión que comprende (a) unos recipientes primero, segundo, tercero y cuarto, teniendo cada recipiente un extremo de alimentación, un extremo de producto y material de sustancia adsorbente adaptado para adsorber un componente que está seleccionado de una mezcla de gas de alimentación; (b) una tubería adaptada para introducir la mezcla de gas de alimentación en los extremos de alimentación de los recipientes, una tubería adaptada para retirar un gas de producto a partir de los extremos de producto de los recipientes, una tubería adaptada para colocar los extremos de producto de cualquier par de recipientes en una comunicación de flujo y una tubería adaptada para retirar un gas de desecho a partir de los extremos de alimentación de los recipientes; y (c) un tubo de alimentación adaptado para suministrar la mezcla
65

de gas de alimentación al sistema, un tubo de producto adaptado para retirar el gas de producto del sistema y un tubo de gas de desecho adaptado para retirar el gas de desecho del sistema.

5 El sistema de la presente realización también incluye una válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados que tiene ocho posiciones indexadas en las que

- (1) en una primera posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y cuarto en una comunicación de flujo;
- 10 (2) en una segunda posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes tercero y cuarto en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y segundo en una comunicación de flujo;
- (3) en una tercera posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y tercero en una comunicación de flujo;
- 15 (4) en una cuarta posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y cuarto en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y tercero en una comunicación de flujo;
- (5) en una quinta posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y cuarto en una comunicación de flujo;
- 20 (6) en una sexta posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y segundo en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes tercero y cuarto en una comunicación de flujo;
- (7) en una séptima posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y tercero en una comunicación de flujo; y
- 25 (8) en una octava posición indexada la válvula está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y cuarto en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y tercero en una comunicación de flujo.

30 La invención también se refiere a un procedimiento para la recuperación de un componente menos fuertemente adsorbible a partir de una mezcla de gas de alimentación que comprende un componente más fuertemente adsorbible y un componente menos fuertemente adsorbible, en el que el procedimiento comprende

(a) proporcionar un sistema de adsorción de oscilación de presión que comprende

- 35 (1) más de dos recipientes, teniendo cada uno un extremo de alimentación, un extremo de producto y material de sustancia adsorbente adaptado para adsorber el componente más fuertemente adsorbible a partir de la mezcla de gas de alimentación;
- (2) una tubería adaptada para introducir la mezcla de gas de alimentación en los extremos de alimentación de los recipientes, una tubería adaptada para retirar un gas de producto a partir de los extremos de producto de los recipientes, en el que el gas de producto se empobrece en el componente más fuertemente adsorbible, una tubería adaptada para colocar los extremos de producto de cualquier par de recipientes en una comunicación de flujo y una tubería adaptada para retirar un gas de desecho a partir de los extremos de alimentación de los recipientes, en el que el gas de desecho se enriquece en el componente más fuertemente adsorbible;
- 40 (3) un tubo de alimentación adaptado para suministrar la mezcla de gas de alimentación al sistema, un tubo de producto adaptado para retirar el gas de producto del sistema y un tubo de gas de desecho adaptado para retirar el gas de desecho del sistema; y
- 45 (4) una válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados que tiene una pluralidad de posiciones de rotación indexadas adaptadas para colocar los extremos de producto de cualquier par de recipientes en una comunicación de flujo;
- 50

55 (b) introducir la mezcla de gas de alimentación en un primer recipiente y retirar el gas de producto del primer recipiente y a través del tubo de producto;

(c) despresurizar el primer recipiente retirando el gas de despresurización del extremo de producto del recipiente y transferir el gas de despresurización al extremo de alimentación de otro recipiente a través de la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados en una de las posiciones de rotación indexadas;

60 (d) retirar el gas de desecho del extremo de alimentación del primer recipiente;

(e) presurizar el primer recipiente introduciendo en el extremo de producto del recipiente un gas de despresurización que se proporciona a partir de otro recipiente que está experimentando la etapa (c), en la que el gas se transfiere a través de la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados en otra de las posiciones de rotación indexadas; y

65

(f) repetir las etapas (b) a (e) de forma cíclica.

La válvula de múltiples orificios giratorios indexados comprende (a) un miembro giratorio adaptado para su rotación alrededor de un eje y que tiene una primera sección transversal circular perpendicular al eje, en la que el miembro giratorio tiene una superficie exterior no plana y comprende uno o más pasos a través del miembro giratorio; (b) un cuerpo de válvula que rodea el miembro giratorio, en la que el cuerpo de válvula es coaxial con el miembro giratorio y tiene una superficie interior no plana y una superficie exterior, y en la que el cuerpo de válvula comprende una pluralidad de pasos entre la superficie interior y la superficie exterior; y (c) un motor de accionamiento de válvula de indexación adaptado para girar el miembro giratorio de forma intermitente en un único sentido de rotación para colocar el miembro giratorio de forma secuencial en una serie de posiciones de rotación o circunferenciales fijas alrededor de la periferia de la sección transversal circular en relación con el cuerpo de válvula para alinear unos pasos seleccionados en el miembro giratorio con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula.

En una realización preferida, el conjunto de válvulas de múltiples orificios giratorios indexados comprende (a) un miembro giratorio adaptado para su rotación alrededor de un eje y que tiene una primera sección transversal circular perpendicular al eje, en el que el miembro giratorio comprende un primer, un segundo y un tercer paso a través del miembro giratorio; (b) un cuerpo de válvula que rodea el miembro giratorio, en el que el cuerpo de válvula es coaxial con el miembro giratorio y tiene una superficie interior y una superficie exterior, y en el que el cuerpo de válvula comprende unos pasos primero, segundo, tercero y cuarto entre la superficie interior y la superficie exterior; y (c) un motor de accionamiento de válvula de indexación adaptado para girar el miembro giratorio de forma intermitente en un único sentido de rotación para colocar el miembro giratorio de forma secuencial en cada una de ocho posiciones circunferenciales diferentes alrededor de la periferia de la sección transversal circular en relación con el cuerpo de válvula para alinear unos pasos seleccionados en el miembro giratorio con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula.

En una realización preferida, el conjunto de válvulas de múltiples orificios giratorios indexados comprende

(a) un miembro giratorio adaptado para su rotación alrededor de un eje y que tiene una primera sección transversal circular perpendicular al eje, en el que el miembro giratorio tiene una superficie exterior, y en el que el miembro giratorio comprende

(1) unas aberturas primera, segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta en la superficie exterior que están dispuestas alrededor de la periferia de la primera sección transversal circular, en las que

la primera abertura y la segunda abertura están separadas por dos arcos iguales de 180 grados alrededor de la periferia de la primera sección transversal circular, las aberturas tercera y cuarta están dispuestas a lo largo de uno de los dos arcos iguales que separan las aberturas primera y segunda, la tercera abertura está separada de la cuarta abertura por un arco de 90 grados sobre la periferia, la tercera abertura está separada de la primera abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia, y la cuarta abertura está separada de la segunda abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia, y las aberturas quinta y sexta están dispuestas a lo largo del otro de los dos arcos iguales que separan las aberturas primera y segunda, la quinta abertura está separada de la sexta abertura por un arco de 90 grados sobre la periferia, la quinta abertura está separada de la primera abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia y la sexta abertura está separada de la segunda abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia, y

(2) un primer paso a través del miembro giratorio que conecta la primera abertura con la segunda abertura, un segundo paso a través del miembro giratorio que conecta la tercera abertura con la cuarta abertura, y un tercer paso a través del miembro giratorio que conecta la quinta abertura con la sexta abertura;

(b) un cuerpo de válvula que rodea el miembro giratorio, en el que el cuerpo de válvula es coaxial con el miembro giratorio y tiene una segunda sección transversal circular que es perpendicular al eje del miembro giratorio, una periferia de la segunda sección transversal circular que se encuentra en el mismo plano que la periferia de la primera sección transversal circular del miembro giratorio, una superficie interior, y una superficie exterior, y en el que el cuerpo de válvula comprende

(1) unas aberturas primera, segunda, tercera y cuarta en la superficie interior que están dispuestas alrededor de la periferia de la segunda sección transversal circular, en las que cada abertura está separada de cada abertura adyacente por un arco de 90 grados sobre esta periferia;

(2) unas aberturas primera, segunda, tercera y cuarta en la superficie exterior del alojamiento, y

(3) un primer paso a través del cuerpo de válvula que conecta la primera abertura en la superficie interior con la primera abertura en la superficie exterior, un segundo paso a través del cuerpo de válvula que conecta la segunda abertura en la superficie interior con la segunda abertura en la superficie exterior, un

tercer paso a través del cuerpo de válvula que conecta la tercera abertura en la superficie interior con la tercera abertura en la superficie exterior, y un cuarto paso a través del cuerpo de válvula que conecta la cuarta abertura en la superficie interior con la cuarta abertura en la superficie exterior; y

5 (c) un motor de accionamiento de válvula de indexación adaptado para girar el miembro giratorio de forma intermitente en un único sentido de rotación para colocar el miembro giratorio de forma secuencial en cada una de ocho posiciones circunferenciales diferentes alrededor de la periferia de la sección transversal circular en relación con el cuerpo de válvula para alinear unos pasos seleccionados en el miembro giratorio con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula.

10 La figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de cuatro lechos de adsorción de oscilación de presión a modo de ejemplo.

15 La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de cuatro lechos de adsorción de oscilación de presión a modo de ejemplo de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 3 es una sección transversal de una válvula de múltiples orificios giratorios indexados que se usa en una realización de la presente invención.

20 La figura 4 es una sección transversal de otra válvula de múltiples orificios giratorios indexados que se usa en una realización de la presente invención.

25 La figura 5 es una representación gráfica de las etapas 1–8 durante un ciclo de PSA de cuatro lechos que muestra las etapas de ciclo y las posiciones respectivas de una válvula de múltiples orificios giratorios indexados que funciona sobre los extremos de alimentación de los lechos.

30 Las realizaciones de la invención que se describen en el presente documento simplifican el valvulado y el sistema de control de válvulas que se usan en un proceso de PSA típico. Muchos sistemas de PSA utilizan múltiples recipientes de sustancia adsorbente que tienen unos colectores de distribución de salida y de entrada de gas con múltiples válvulas de bloqueo que se abren y se cierran durante unos periodos de tiempo controlados durante el ciclo de proceso. Un sistema de PSA típico de cuatro lechos que se conoce en la técnica se ilustra en la figura 1, en el que un material de sustancia adsorbente selectivo está contenido en unos recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, el gas de alimentación se introduce en el sistema mediante el soplador de alimentación 109, y el gas de desecho se retira del sistema mediante el soplador de vacío 111. El aire de entrada a través de la línea 113 se filtra en el filtro 115, y el gas de alimentación comprimido a través del soplador 109 pasa a través de un silenciador 117 y se enfría en un postenfriador 119. El gas de alimentación se proporciona a través del colector de distribución de alimentación 121 y las válvulas de bloqueo 123, 125, 127 y 129 a los extremos de alimentación de los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, respectivamente. El gas de desecho se retira de los extremos de alimentación de los recipientes de sustancia adsorbente a través de unas válvulas de conmutación 131, 133, 135 y 137 y el colector de distribución de gas de desecho 137, y el soplador de vacío 111 descarga el gas de desecho a través del silenciador 139.

45 El gas de producto se retira a través de unas válvulas de bloqueo 141, 143, 145 y 147 a partir de los extremos de producto de los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, respectivamente. El gas de producto pasa a través de un colector de distribución de producto 149 al depósito de producto 151, a partir del cual éste se proporciona al consumidor a través de una válvula de control de flujo 153. La transferencia de gas entre los recipientes de sustancia adsorbente 101 y 105 fluye a través de una tubería de conexión y la válvula de bloqueo 151, la transferencia de gas entre los recipientes de sustancia adsorbente 103 y 107 fluye a través de una tubería de conexión y la válvula de bloqueo 153, la transferencia de gas entre los recipientes de sustancia adsorbente 101 y 107 fluye a través de una tubería de conexión y la válvula de bloqueo 155, la transferencia de gas entre los recipientes de sustancia adsorbente 101 y 103 fluye a través de una tubería de conexión y la válvula de bloqueo 157, la transferencia de gas entre los recipientes de sustancia adsorbente 103 y 105 fluye a través de una tubería de conexión y la válvula de bloqueo 159, y la transferencia de gas entre los recipientes de sustancia adsorbente 105 y 107 fluye a través de una tubería de conexión y la válvula de bloqueo 161.

55 Hay varias características en el sistema de PSA de la figura 1 que pueden contribuir a un alto gasto de capital y a unos complicados problemas de funcionamiento. En primer lugar, hay 18 válvulas de bloqueo de conmutación que se accionan mediante unos accionadores electrónicos o neumáticos individuales que se controlan típicamente mediante un controlador lógico programable (PLC) o un sistema de control informático. En segundo lugar, las pequeñas diferencias entre los tiempos de accionamiento para las múltiples válvulas de bloqueo pueden desembocar en una escalada de diferencias significativas después de largos periodos de tiempo de funcionamiento. Esto es de particular interés en los ciclos de PSA rápidos, debido a que estas diferencias de tiempo pueden volverse unas fracciones más grandes de las duraciones temporales de las etapas de ciclo. Se requeriría una lógica adicional en el controlador para una autocorrección del presente problema. En tercer lugar, las válvulas de bloqueo de conmutación tienen unas partes móviles cuya sustitución se necesitaría con el tiempo a medida que éstas se desgastan, algunas a unas velocidades diferentes de las otras.

Como alternativa al uso de las múltiples válvulas de bloqueo que se muestran en la figura 1, las válvulas rotativas se han desarrollado en la técnica para dirigir el flujo de gas hacia, desde y entre los lechos de un sistema de PSA de múltiples lechos para efectuar las etapas de ciclo requeridas. Una válvula rotativa comprende un rotor y un estátor, teniendo cada uno múltiples orificios y/o pasos arqueados internos que están alineados en unas posiciones diferentes a medida que el rotor gira continuamente para dirigir el flujo de gas durante el ciclo de PSA. El rotor y el estátor tienen típicamente unas superficies sumamente pulidas entre las cuales se hace un contacto deslizante continuo para formar un sello de gas a prueba de fugas. A pesar de que las válvulas rotativas pueden sustituir numerosas válvulas de bloqueo de conmutación en un sistema de PSA, las válvulas rotativas son costosas y tienden a ser bastante complejas, en especial cuando se usan en un sistema de PSA con más de dos lechos que funcionan con múltiples etapas de transferencia de gas de lecho a lecho. Asimismo, las válvulas rotativas pueden tener unas tasas de fuga más altas debido al desequilibrio y desgaste en comparación con las válvulas de conmutación más tradicionales.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan alternativas al uso de múltiples válvulas de conmutación y válvulas rotativas en los sistemas de PSA de múltiples recipientes utilizando unas válvulas de múltiples orificios giratorios indexados en los extremos de producto y de alimentación de los recipientes de sustancia adsorbente. Una válvula de múltiples orificios giratorios indexados se define como una válvula que comprende un miembro giratorio que está dispuesto en el interior de un cuerpo de válvula, en la que el miembro giratorio y el cuerpo de válvula son coaxiales y tienen unas secciones transversales circulares en cualquier plano perpendicular al eje. La superficie exterior del miembro giratorio y la superficie interior del cuerpo de válvula son no planas. Cada uno del miembro giratorio y el alojamiento de válvula tiene una pluralidad de pasos en los que unas combinaciones seleccionadas de los pasos en el miembro y el cuerpo se colocan en una comunicación de flujo cuando el miembro se establece en unas posiciones circunferenciales indexadas específicas respectivas.

La rotación del miembro giratorio es intermitente y la válvula está indexada, lo que quiere decir que la rotación tiene lugar sólo para cambiar la posición circunferencial del miembro y no tiene lugar rotación alguna mientras que el miembro se encuentra en una posición circunferencial indexada fija. Cada posición circunferencial fija del miembro giratorio se considera una posición indexada en relación con el cuerpo de válvula, y el miembro giratorio vuelve a una posición indexada dada durante cada revolución alrededor de su eje.

Las expresiones “comunicación de flujo” y “en una comunicación de flujo con”, tal como se aplican a una primera y a una segunda región, quieren decir que el fluido puede fluir desde la primera región hasta la segunda región, y/o desde la segunda región hasta la primera región, a través de una región intermedia. La región intermedia puede comprender una tubería de conexión y las válvulas entre las regiones primera y segunda.

La expresión “secuencial” tiene el significado usual de relacionado con, o dispuesto en, una secuencia. Cuando se aplica al uso de una válvula de múltiples orificios giratorios indexados en un sistema de adsorción de oscilación de presión, la expresión se refiere a una serie repetible de posiciones fijas del miembro giratorio de la válvula a medida que ésta se gira de forma intermitente entre las posiciones. La expresión también se aplica a las etapas en un ciclo de adsorción de oscilación de presión en el que cada etapa sigue la misma etapa anterior en una serie de etapas que se repite de forma cíclica. La expresión “comunicación de flujo secuencial”, tal como se aplica al extremo de producto de un recipiente de sustancia adsorbente, quiere decir que el extremo de producto de ese recipiente se coloca en una comunicación de flujo de forma sucesiva con cada uno de los otros recipientes en las etapas de un ciclo de funcionamiento de PSA.

La expresión “giratorio/ que puede girar” se refiere a un miembro de válvula que tiene un eje alrededor del cual el miembro puede girarse de forma discontinua o intermitente entre las posiciones en las que el miembro permanece en una posición fija entre los periodos de movimiento de rotación desde una posición hasta la siguiente posición secuencial. La expresión “indexado/a” quiere decir que las posiciones están fijadas una en relación con las otra.

La expresión genérica “adsorción de oscilación de presión” (PSA), tal como se usa en el presente documento, se aplica a todos los sistemas de separación por adsorción que funcionan entre una presión máxima y una mínima. La presión máxima típicamente es superatmosférica, y la presión mínima puede ser superatmosférica, atmosférica o subatmosférica. Cuando la presión mínima es subatmosférica y la presión máxima es superatmosférica, el sistema se describe típicamente como un sistema de adsorción de oscilación de vacío – presión (PVSA). Cuando la presión máxima se encuentra a, o por debajo de, la presión atmosférica y la presión mínima se encuentra por debajo de la presión atmosférica, el sistema se describe típicamente como un sistema de adsorción de oscilación de vacío (VSA).

Los artículos indefinidos “un(o)” y “una”, tal como se usan en el presente documento, quieren decir uno/a o más cuando se aplica a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención que se describe en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. El uso de “un(o)” y “una” no limita el significado a una única característica a menos que se indique específicamente un límite de este tipo. El artículo definido “el/la/los/las” antes de sustantivos o sintagmas nominales singulares o plurales indica una característica especificada particular o unas características especificadas particulares y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que éste se usa. El adjetivo “cualquier(a)” quiere decir uno, alguno o todos, sin la selección por exclusión de cantidad alguna. La expresión “y/o” colocada entre una primera entidad y una segunda entidad quiere decir una de (1) la primera

entidad, (2) la segunda entidad y (3) la primera entidad y la segunda entidad.

Una realización se ilustra en la figura 2, en la que las válvulas de múltiples orificios giratorios indexados se usan para sustituir las válvulas de bloqueo del sistema en la figura 1. El sistema de la figura 2 usa ciertos componentes comunes de la figura 1, a saber, los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, el soplador de alimentación 109, el soplador de vacío 111, el filtro 115, el silenciador 117, el postenfriador 119, el colector de distribución de gas de desecho 137, el silenciador 139, el depósito de producto 151 y la válvula de control 153. Las líneas de salida 201, 203, 205 y 207 a partir de los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, respectivamente, se conectan a un colector de distribución de producto 149 a través de las válvulas de retención 209, 211, 213 y 215, respectivamente. El depósito de producto 151 puede rellenarse con una sustancia adsorbente selectiva de oxígeno con el fin de aumentar la densidad de almacenamiento de gas efectiva en el interior del depósito de producto, reduciendo de este modo el tamaño del depósito y las fluctuaciones de presión en la presión de suministro de producto.

Los flujos de gas entre los extremos de producto de los recipientes de sustancia adsorbente se dirigen mediante la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 217, la cual tiene cuatro orificios externos conectados a través de las líneas 219, 221, 223 y 225, respectivamente, a las líneas de salida 201, 203, 205 y 207 hasta los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, respectivamente. Tal como se describe posteriormente, la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 217 tiene un miembro giratorio interno que tiene unos pasos internos adaptados para colocar unos pares específicos de las líneas 219, 221, 223 y 225 en una comunicación de flujo de acuerdo con el ciclo de PSA que funciona en los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107. El miembro interno giratorio se gira mediante el motor de accionamiento de válvula de indexación 227, que mueve el miembro de forma intermitente en un único sentido de rotación con unos incrementos precisos de 45 grados y tiene ocho posiciones diferentes para alinear unos pasos seleccionados en el miembro giratorio con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula tal como se describe a continuación. El motor de accionamiento de válvula de indexación utiliza un control de movimiento de alta frecuencia preciso para un alineamiento adecuado en las ocho posiciones. El motor de accionamiento de válvula de indexación puede tener un temporizador integrado para controlar la duración de tiempo de cada posición del miembro interno giratorio; alternativamente, un temporizador externo puede usarse o sincronizarse puede su comunicación a partir de un controlador lógico programable (PLC) o un sistema de control informático (que no se muestra). El motor de válvula de indexación puede tener también un freno en el vástago para minimizar el movimiento por inercia del rotor.

Los flujos de gas en los extremos de alimentación de los recipientes de sustancia adsorbente se dirigen mediante las válvulas de múltiples orificios giratorios indexados 229 y 231, cada una de las cuales tiene cuatro orificios externos y un orificio de entrada o de salida. Los miembros internos giratorios de las válvulas 229 y 231 se giran mediante el motor de accionamiento de válvula de indexación 233, que mueve cada miembro de forma intermitente en un único sentido de rotación con unos incrementos precisos de 90 grados y tiene cuatro posiciones diferentes para alinear un paso en el miembro giratorio con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula tal como se describe a continuación. El motor de accionamiento de válvula de indexación utiliza un control de movimiento de alta frecuencia preciso para un alineamiento adecuado en las cuatro posiciones. El motor de accionamiento de válvula de indexación puede tener un temporizador integrado para controlar la duración de tiempo de cada posición del miembro interno giratorio; alternativamente, puede usarse un temporizador externo o el sincronismo puede comunicarse a partir de un controlador lógico programable (PLC) o un sistema de control informático (que no se muestra) que controla ambos motores de accionamiento de válvula de indexación 227 y 233. En otra alternativa, el motor de accionamiento de válvula de indexación 227 puede tener un temporizador integrado que controla ambos motores de accionamiento de válvula de indexación 227 y 233, garantizando de este modo que el movimiento indexado de las válvulas 217, 229 y 231 está siempre sincronizado y es consistente. El motor de válvula de indexación puede tener también un freno en el vástago para minimizar el movimiento por inercia del rotor.

Los orificios externos de la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 229 se conectan a través de las líneas 235, 237, 239 y 241, respectivamente, a las líneas de entrada/ salida 243, 245, 247 y 249 en los extremos de alimentación de los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, respectivamente. El orificio de entrada de la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 229 se conecta a través de la línea de alimentación 251 para alimentar el postenfriador de gas 119 y sirve para suministrar el gas de alimentación presurizado a los recipientes de sustancia adsorbente. Tal como se describe posteriormente, la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 229 tiene un miembro giratorio interno que tiene unos pasos internos adaptados para suministrar el gas de alimentación presurizado a cada uno de los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107 de forma sucesiva, de acuerdo con el ciclo de funcionamiento de PSA.

Los orificios externos de la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 231 se conectan a través de las líneas 253, 255, 257 y 259, respectivamente, a las líneas de entrada/ salida 243, 245, 247 y 249 en los extremos de alimentación de los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107, respectivamente. El orificio de salida de la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 231 se conecta a través de una línea de gas de desecho 261 a un soplador de vacío 111 y sirve para retirar el gas de desecho de los recipientes de sustancia adsorbente. Tal como se describe posteriormente, la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 231 tiene un miembro giratorio interno que tiene unos pasos internos adaptados para retirar el gas de desecho de cada uno de los recipientes de

sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107 de forma sucesiva, de acuerdo con el ciclo de funcionamiento de PSA.

Un ejemplo de la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 217 se ilustra en la vista en sección transversal de la figura 3. Esta sección es perpendicular al eje de rotación de la válvula que pasa a través de un punto central 301. La válvula comprende el cuerpo de válvula 303 y el miembro giratorio interno 305 dispuesto en el interior de una cavidad interna de cuerpo de válvula que tiene la misma forma general que el miembro giratorio 305. Un espacio anular o circunferencial 307 contiene unos elementos de sellado tal como una empaquetadura, juntas tóricas, juntas u otro material elastomérico (que no se muestra) adaptados para evitar el flujo de gas entre el cuerpo de válvula 303 y el miembro giratorio 305. Los elementos de sellado están dispuestos entre, y sellan, las superficies curvadas de unión del cuerpo de válvula 303 y el miembro giratorio interno 305. La empaquetadura, las juntas tóricas, las juntas u otro material elastomérico han de tener un bajo coeficiente de rozamiento para permitir un contacto deslizante sellable entre este material y la superficie exterior del miembro giratorio y/o la superficie interior de la cavidad interna de cuerpo de válvula.

El miembro giratorio interno 305 tiene un paso o pared interior central 309 que pasa a través del miembro, un paso o pared interior desplazado 311 que pasa a través de una región a un lado del paso 309, y un paso o pared interior desplazado 313 que pasa a través de una región al otro lado del paso 309. El paso central 309 tiene un primer extremo 309a y un segundo extremo 309b, un paso desplazado 311 tiene un primer extremo 311a y un segundo extremo 311b, y un paso desplazado 313 tiene un primer extremo 313a y un segundo extremo 313b. El cuerpo de válvula 303 tiene cuatro pasos 315, 317, 319 y 321 que se extienden a partir del espacio anular o circunferencial 307 a través de las superficies exteriores del cuerpo de válvula 303. El miembro giratorio interno 305 y la cavidad interna del cuerpo de válvula tienen unas secciones transversales circulares que son concéntricas y perpendiculares al eje de rotación del miembro giratorio 305.

La válvula de múltiples orificios giratorios indexados que se describe anteriormente se diferencia de una válvula rotativa típicamente usada en los sistemas de PSA debido a que (1) la válvula de múltiples orificios giratorios gira de forma intermitente mientras que una válvula rotativa gira continuamente y/o (2) las superficies opuestas entre el miembro giratorio y el cuerpo de válvula son curvadas y no planas mientras que las superficies opuestas entre el rotor y el estátor en una válvula rotativa son llanas y planas. En cualquiera de las realizaciones, los tres pasos pueden encontrarse en el mismo plano, tal como se ilustra en la figura 3, o pueden encontrarse en unos planos diferentes. Los pasos pueden encontrarse en cualquier ángulo en relación con el eje de rotación del miembro giratorio 305, pero no pueden ser paralelos a este eje de rotación. Los tres pasos pueden tener unas áreas de flujo en sección transversal efectiva diferentes, y estas áreas de flujo en sección transversal pueden estar dimensionadas para controlar el caudal del gas entre los lechos durante una etapa dada. En el proceso de cuatro lechos particular que se describe en la figura 5, por ejemplo, el paso central 309 puede ser más grande que cualquiera de los pasos 311 o 313. En general, uno cualquiera de los pasos primero, segundo, y tercero pueden tener un área de flujo en sección transversal diferente de cualquiera de los otros dos pasos.

La válvula de múltiples orificios giratorios indexados a modo de ejemplo de la figura 3 está adaptada para funcionar de forma intermitente, en la que los pasos en el miembro giratorio 305 se registran en, o están alineados con, unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula 303 en ocho posiciones indexadas diferentes, tal como sigue.

1. Una primera posición indexada se muestra en la figura 3, en la que un primer extremo 309a del paso 309 está alineado con el paso 321 en el cuerpo de válvula y un segundo extremo 309b está alineado con el paso 317 en el cuerpo de válvula durante un primer periodo de tiempo. En esta primera posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 309, 317 y 321, y los extremos de los pasos 311, 313, 315 y 319 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

2. Una segunda posición indexada se establece girando el miembro giratorio 305 en el sentido contrario al de las agujas del reloj 45 grados con respecto a la posición en la figura 3 de tal modo que durante un segundo periodo de tiempo (1) un primer extremo 311 a del paso 311 está alineado con el paso 321 y un segundo extremo 311 b está alineado con el paso 315 y (2) un primer extremo 313a del paso 313 está alineado con el paso 319 y un segundo extremo 313b está alineado con el paso 317. En esta segunda posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 311, 315 y 321, y se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 313, 317 y 319. Los extremos del paso 309 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

3. Una tercera posición indexada se establece girando el miembro giratorio 305 en el sentido contrario al de las agujas del reloj otros 45 grados con respecto a la segunda posición, de tal modo que un primer extremo 309a del paso 309 está alineado con el paso 319 y un segundo extremo 309b está alineado con el paso 315 durante un tercer periodo de tiempo. En esta tercera posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 309, 315 y 319, y los extremos de los pasos 311, 313, 317 y 321 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

4. Una cuarta posición indexada se establece girando el miembro giratorio 305 en el sentido contrario al de las agujas del reloj otros 45 grados con respecto a la tercera posición, de tal modo que durante un cuarto periodo

de tiempo (1) un primer extremo 311 a del paso 311 está alineado con el paso 319 y un segundo extremo 311 b está alineado con el paso 321 y (2) un primer extremo 313a del paso 313 está alineado con el paso 317 y un segundo extremo 313b está alineado con el paso 315. En esta cuarta posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 311, 319 y 321, y se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 313, 315 y 317. Los extremos del paso 309 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

5. Una quinta posición indexada se establece girando el miembro giratorio 305 en el sentido contrario al de las agujas del reloj otros 45 grados con respecto a la cuarta posición, de tal modo que un primer extremo 309a del paso 309 está alineado con el paso 317 y un segundo extremo 309b está alineado con el paso 321 durante un quinto periodo de tiempo. En esta quinta posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 309, 317 y 321, y los extremos de los pasos 311, 313, 315 y 319 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

6. Una sexta posición indexada se establece girando el miembro giratorio 305 en el sentido contrario al de las agujas del reloj otros 45 grados con respecto a la quinta posición, de tal modo que durante un sexto periodo de tiempo (1) un primer extremo 311 a del paso 311 está alineado con el paso 317 y un segundo extremo 311 b está alineado con el paso 319 y (2) un primer extremo 313a del paso 313 está alineado con el paso 315 y un segundo extremo 313b está alineado con el paso 321. En esta sexta posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 311, 317 y 319, y se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 313, 315 y 321. Los extremos del paso 309 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

7. Una séptima posición indexada se establece girando el miembro giratorio 305 en el sentido contrario al de las agujas del reloj otros 45 grados con respecto a la sexta posición, de tal modo que un primer extremo 309a del paso 309 está alineado con el paso 315 y un segundo extremo 309b está alineado con el paso 319 durante un séptimo periodo de tiempo. En esta séptima posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 309, 315 y 319, y los extremos de los pasos 311, 313, 317 y 321 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

8. Una octava posición indexada se establece girando el miembro giratorio 305 en el sentido contrario al de las agujas del reloj otros 45 grados con respecto a la séptima posición, de tal modo que durante un octavo periodo de tiempo (1) un primer extremo 311 a del paso 311 está alineado con el paso 315 y un segundo extremo 311 b está alineado con el paso 317 y (2) un primer extremo 313a del paso 313 está alineado con el paso 321 y un segundo extremo 313b está alineado con el paso 319. En esta octava posición, se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 311, 315 y 317, y se proporciona una trayectoria para la comunicación de flujo de fluidos entre los pasos 313, 319 y 321. Los extremos del paso 309 se sellan por contacto con los elementos de sellado en el espacio anular 307.

Siguiendo la octava posición, el miembro giratorio 305 se gira en el sentido contrario al de las agujas del reloj otros 45 grados y vuelve a la primera posición indexada. Como alternativa a la rotación en el sentido contrario al de las agujas del reloj que se describe anteriormente, el miembro giratorio 305 puede girarse a partir de la primera posición en el sentido de las agujas del reloj, caso en el que las posiciones que se describen anteriormente estarían en el orden inverso. Cada una de estas ocho posiciones se corresponde con una etapa de proceso respectiva en el ciclo de PSA que se describe a continuación.

Ha de apreciarse a partir de la secuencia que se describe anteriormente que la rotación a través de ocho posiciones indexadas para un cuerpo de válvula 303 que contiene sólo cuatro pasos prevé el aislamiento de los pares de lechos uno con respecto a otro, de tal modo que los extremos de producto de los dos lechos no se encuentran en una comunicación de flujo. Este aislamiento permite que los lechos participen en unas etapas de proceso adicionales, tales como la evacuación o la provisión de producto.

La válvula de múltiples orificios giratorios indexados de la figura 3 funciona de forma intermitente de tal modo que cada una de las ocho posiciones fijas que se describen anteriormente se mantiene durante un intervalo de tiempo predeterminado sin rotación del miembro giratorio 305. Entre cada uno de estos intervalos de tiempo predeterminados, el miembro giratorio gira con rapidez desde una posición hasta la posición adyacente durante un breve intervalo de tiempo de rotación que es mucho más corto que los intervalos de tiempo de las ocho posiciones fijas. El miembro giratorio 305 puede girarse sobre su eje mediante un motor de indexación paso a paso que se controla mediante un temporizador programable de acuerdo con las duraciones deseadas de los periodos de tiempo primero a octavo que se describen anteriormente.

En una realización, las formas tridimensionales del miembro giratorio interno 305 y la cavidad interna del cuerpo de válvula 303 son generalmente esféricas y concéntricas, y las partes forman un conjunto que puede describirse como una válvula esférica. En otras realizaciones, el miembro giratorio interno 305 y la cavidad interna del cuerpo de válvula pueden ser cilíndricos, elipsoidales, ahusados o de cualquier otra forma que tenga una sección transversal circular tomada en perpendicular al eje de rotación del miembro giratorio 305. La válvula de múltiples orificios

giratorios indexados que se ilustra en la figura 3 puede fabricarse usando unos procedimientos conocidos, por ejemplo, en la técnica de fabricación de válvulas esféricas o de válvulas de obturador excéntrico. Alternativamente, una válvula esférica o una válvula de obturador excéntrico comercialmente disponibles pueden modificarse taladrando unos pasos adicionales en el miembro giratorio y/o el cuerpo de válvula para lograr el alineamiento deseado de los pasos y las trayectorias de flujo de fluidos.

Un ejemplo de las válvulas de múltiples orificios giratorios indexados 229 y 231 de la figura 2 se ilustra en la vista en sección transversal de la figura 4. Esta sección se toma en perpendicular al eje de rotación de la válvula que pasa a través de un punto central 401. La válvula comprende el cuerpo de válvula 403 y el miembro giratorio interno 405 dispuesto en el interior de una cavidad interna de cuerpo de válvula que tiene la misma forma general que el miembro giratorio 405. Un espacio anular o circunferencial 407 contiene unos elementos de sellado tal como una empaquetadura, juntas tóricas, juntas u otro material elastomérico (que no se muestra) adaptados para evitar el flujo de gas entre el cuerpo de válvula 403 y el miembro giratorio 405. La empaquetadura, las juntas tóricas, las juntas u otro material elastomérico han de tener un bajo coeficiente de rozamiento para permitir un contacto deslizante sellable entre este material y la superficie exterior del miembro giratorio y/o la superficie interior de la cavidad interna de cuerpo de válvula.

El miembro giratorio interno 405 tiene un paso o pared interior central 409 que pasa desde la superficie exterior en un primer extremo 409a hasta el centro del miembro, se dobla 90 grados, sigue el eje de rotación del miembro y se extiende hasta la superficie exterior del miembro en un segundo extremo 409b (que no se muestra) ubicado en la superficie exterior del cuerpo de válvula por debajo del plano de la vista en sección de la figura 4. La dirección de un fluido que fluye a través de un paso central 409 cambia de este modo 90 grados entre un primer extremo 409a y un segundo extremo 409b. El cuerpo de válvula 403 tiene cuatro pasos 411, 413, 415 y 417 que se extienden a partir del espacio anular o circunferencial 407 a través de las superficies exteriores del cuerpo de válvula 403. El miembro giratorio interno 405 y la cavidad interna del cuerpo de válvula tienen unas secciones transversales circulares que son concéntricas y perpendiculares al eje de rotación del miembro giratorio 405.

La válvula de múltiples orificios giratorios indexados a modo de ejemplo de la figura 4 está adaptada para funcionar de forma intermitente, en la que el paso en el miembro giratorio 405 se registra en, o está alineado con, los pasos en el cuerpo de válvula 403 en cuatro posiciones indexadas diferentes, tal como sigue. Una primera posición indexada se muestra en la figura 4, en la cual un primer extremo 409a del paso 409 está alineado con el paso 411 durante un primer periodo de tiempo, colocando de este modo los dos pasos en una comunicación de flujo de fluidos. Una segunda posición indexada se establece girando el miembro giratorio 405 en el sentido contrario al de las agujas del reloj 90 grados con respecto a la posición en la figura 4, de tal modo que un primer extremo 409a está alineado con el paso 417 durante un segundo periodo de tiempo, colocando de este modo los dos pasos en una comunicación de flujo de fluidos. Una tercera posición indexada se establece girando el miembro giratorio 405 en el sentido contrario al de las agujas del reloj 90 grados con respecto a la segunda posición, de tal modo que un primer extremo 409a está alineado con el paso 415 durante un tercer periodo de tiempo, colocando de este modo los dos pasos en una comunicación de flujo de fluidos. Una cuarta posición indexada se establece girando el miembro giratorio 405 en el sentido contrario al de las agujas del reloj 90 grados con respecto a la tercera posición, de tal modo que un primer extremo 409a está alineado con el paso 417 durante un cuarto periodo de tiempo, colocando de este modo los dos pasos en una comunicación de flujo de fluidos. Siguiendo la cuarta posición, el miembro giratorio 405 se gira en el sentido contrario al de las agujas del reloj 90 grados con respecto a la tercera posición para volver a la primera posición. Como alternativa a la rotación en el sentido contrario al de las agujas del reloj que se describe anteriormente, el miembro giratorio 405 puede girarse a partir de la primera posición indexada en el sentido de las agujas del reloj, caso en el que las posiciones que se describen anteriormente estarían en el orden inverso.

La válvula de múltiples orificios giratorios indexados de la figura 4 funciona de forma intermitente de tal modo que cada una de las cuatro posiciones fijas que se describen anteriormente se mantiene durante un intervalo de tiempo predeterminado sin rotación del miembro giratorio 405. Entre cada uno de estos intervalos de tiempo predeterminados, el miembro giratorio gira con rapidez desde una posición hasta la posición adyacente durante un breve intervalo de tiempo de rotación que es mucho más corto que los intervalos de tiempo de las ocho posiciones fijas. El miembro giratorio 405 puede girarse sobre su eje mediante un motor de indexación paso a paso que se controla mediante un temporizador programable de acuerdo con las duraciones deseadas de los periodos de tiempo primero a octavo que se describen anteriormente.

En una realización, las formas tridimensionales del miembro giratorio interno 405 y la cavidad interna del cuerpo de válvula 403 son generalmente esféricas y concéntricas, y las partes forman un conjunto que puede describirse como una válvula esférica. En otras realizaciones, el miembro giratorio interno 405 y la cavidad interna del cuerpo de válvula pueden ser cilíndricos, elipsoidales, ahusados o de cualquier otra forma que tenga una sección transversal circular tomada en perpendicular al eje de rotación del miembro giratorio 405. La válvula de múltiples orificios giratorios indexados que se ilustra en la figura 4 puede fabricarse usando unos procedimientos conocidos, por ejemplo, en la técnica de fabricación de válvulas esféricas o de válvulas de obturador excéntrico. Alternativamente, una válvula esférica o una válvula de obturador excéntrico comercialmente disponibles pueden modificarse taladrando unos pasos adicionales en el miembro giratorio y/o el cuerpo de válvula para lograr el alineamiento deseado de los pasos y las trayectorias de comunicación de flujo de fluidos.

En base a las descripciones anteriores con referencia a las figuras 3 y 4, una válvula de múltiples orificios giratorios indexados puede definirse como una válvula que comprende (a) un miembro giratorio adaptado para su rotación alrededor de un eje y que tiene una primera sección transversal circular perpendicular al eje, en la que el miembro giratorio comprende uno o más pasos a través del miembro giratorio; (b) un cuerpo de válvula que rodea el miembro giratorio, en la que el cuerpo de válvula es coaxial con el miembro giratorio y tiene una superficie interior y una superficie exterior, y en la que el cuerpo de válvula comprende una pluralidad de pasos entre la superficie interior y la superficie exterior. Un motor de accionamiento de válvula de indexación es un motor adaptado para girar el miembro giratorio de forma intermitente en un único sentido de rotación para colocar el miembro giratorio de forma secuencial en una serie de posiciones de rotación o circunferenciales fijas alrededor de la periferia de la sección transversal circular en relación con el cuerpo de válvula para alinear unos pasos seleccionados en el miembro giratorio con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula.

Las válvulas de múltiples orificios giratorios indexados de la figura 2 pueden acoplarse físicamente para mantener la sincronización requerida para seguir una secuencia de sinfonismo preestablecida. Esta secuencia puede conseguirse accionando los miembros giratorios mediante un excitador o excitadores de motor de CA de alto índice de ciclo y de alta velocidad, en los que cada excitador está conectado directamente a través de un acoplamiento de vástago a vástago a una válvula de múltiples orificios giratorios indexados. Un temporizador de dos posiciones puede usarse para accionar el/los excitador(es) en lugar de un costoso dispositivo de controlador lógico programable (PLC).

El excitador o excitadores de motor de CA pueden controlarse mediante una unidad de inversor modular que utiliza realimentación de encóder a partir del motor de CA para colocar la válvula de múltiples orificios giratorios indexados con rapidez, con precisión y fiable. El inversor de accionamiento modular es capaz de funcionar de forma fiable a través de millones de ciclos por año, lo que es especialmente importante en los sistemas de PSA de ciclo rápido. El inversor de accionamiento modular puede programarse con unos temporizadores internos y enclavamientos para interactuar con, y controlar, el ciclo de proceso de PSA así como el equipo relacionado, tal como los sopladores y la instrumentación. Ejemplos del presente tipo de unidad de inversor modular son los fabricados por SEW–Eurodrive y conocidos como inversores Movidrive MDX61 B. Estas unidades pueden usar una realimentación de encóder de motor interna o recibir realimentación a partir de dispositivos externos, tal como conmutadores de proximidad, para determinar el posicionamiento de válvula exacto.

El funcionamiento del sistema de adsorción de oscilación de presión de la figura 2 puede ilustrarse mediante un proceso de PSA de cuatro lechos para la separación de oxígeno a partir del aire para proporcionar un producto que contiene por lo menos un 80 % en vol de oxígeno a de 15 a 29,7 psia (de 103,4 a 204,8 kPa absolutos). El proceso puede funcionar entre una presión máxima de hasta 29,7 psia (204,8 kPa absolutos) y una presión mínima tan baja como 2 psia (13,8 kPa). Si se requiere una presión de producto más alta, puede usarse un compresor de refuerzo opcional para elevar la presión de producto a 125 psia (881,8 kPa absolutos) o más alta. En el presente proceso, cada uno de los recipientes de sustancia adsorbente 101, 103, 105 y 107 contiene un lecho de material de sustancia adsorbente, el cual puede incluir cualquier sustancia adsorbente conocida para producir oxígeno a partir del aire tal como, por ejemplo, zeolitas CaA, NaX, CaX, y LiX. En el caso de las zeolitas X, la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ puede variar de 2,0 a 2,5. En el caso de alimentación de aire ambiente, puede usarse una capa de tratamiento previo de sustancia adsorbente para retirar el agua y/o CO_2 . Estas sustancias adsorbentes de capa de tratamiento previo pueden incluir alúmina y NaX, así como otras que se conocen en la técnica. Se prefiere la zeolita LiX con una relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 2,0 para la separación de oxígeno a partir del aire y se conoce como LiLSX (Li Bajo contenido en Sílice X). La selectividad de LiLSX adsorbe nitrógeno a temperatura ambiente o casi ambiente para proporcionar un producto de oxígeno que contiene por lo menos un 80 % en vol de oxígeno a de 15 a 29,7 psia (de 103,4 a 204,8 kPa absolutos). La pureza del producto de oxígeno es, preferiblemente, de por lo menos un 90 % en vol de oxígeno. El ciclo puede funcionar entre una presión máxima de hasta 29,7 psia (204,8 kPa absolutos) y una presión mínima tan baja como 2 psia (13,8 kPa).

Un ciclo de PSA de ocho etapas a modo de ejemplo puede usarse tal como se describe a continuación.

1. Introducir un gas de alimentación presurizado en el extremo de alimentación de un primer lecho adsorbente en la que el componente más fuertemente adsorbible se retira mediante la sustancia adsorbente y el componente menos fuertemente adsorbido se retira de un extremo de producto del primer lecho adsorbente como un gas de producto, la totalidad del cual es un gas de producto final que se envía a un depósito de contención de gas de producto final opcional y desde allí a un usuario aguas abajo.

2. Continuar la introducción del gas de alimentación en el extremo de alimentación del primer lecho adsorbente en el que el componente más fuertemente adsorbible se retira mediante la sustancia adsorbente y el componente menos fuertemente adsorbido pasa a través del extremo de producto del lecho adsorbente como un gas de producto, una porción del cual es un gas de producto final que se envía al depósito de contención de gas de producto final opcional y desde allí al usuario aguas abajo, y otra porción del cual se introduce en el extremo de producto de otro lecho adsorbente que está experimentando una represurización contracorriente (la etapa 8), y continuar hasta que el frente de adsorción del componente más fuertemente adsorbible se aproxima al extremo de producto del primer lecho adsorbente.

3. Despresurizar a favor de la corriente el primer lecho adsorbente comenzando a la presión del lecho en la etapa 2, retirando el gas de despresurización del extremo de producto del lecho mientras que la presión en el lecho cae hasta una primera presión intermedia, en la que el gas de despresurización se introduce contracorriente en el extremo de producto de un lecho adsorbente que está experimentando una compensación de presión (la etapa 7).

4. Despresurizar a favor de la corriente el primer lecho adsorbente comenzando a la primera presión intermedia, retirando el gas de despresurización adicional del extremo de producto del lecho mientras que la presión en el lecho cae hasta una segunda presión intermedia, en la que el gas de despresurización se introduce contracorriente en el extremo de producto de un lecho adsorbente que está experimentando una purga (la etapa 6).

5. Despresurizar el primer lecho adsorbente contracorriente a partir de la segunda presión intermedia, en la que el espacio vacío y el gas desorbido se retira del primer lecho adsorbente a través del extremo de alimentación casi a la presión atmosférica como un gas de desecho. La presión puede reducirse adicionalmente a presión subatmosférica conectando la salida de flujo de gas desde el extremo de alimentación del primer lecho adsorbente hasta el extremo de succión de una bomba de vacío, de tal modo que el espacio vacío y el gas desorbido adicional se retira como un gas de desecho adicional.

6. Introducir un gas de purga contracorriente a partir de un lecho adsorbente que está experimentando una segunda despresurización (la etapa 4) en el extremo de producto del primer lecho adsorbente y retirar un gas de purga de desecho del extremo de alimentación del primer lecho adsorbente bajando a una tercera presión intermedia.

7. Volver a presurizar contracorriente el primer lecho adsorbente comenzando a la tercera presión intermedia introduciendo un gas de presurización en el extremo de producto del primer lecho adsorbente hasta una cuarta presión intermedia que es igual a, o menor que, la primera presión intermedia, en la que el gas de presurización se proporciona a partir del extremo de producto de un lecho adsorbente que está experimentando una primera despresurización (la etapa 3).

8. Volver a presurizar contracorriente el primer lecho adsorbente a partir de la cuarta presión intermedia introduciendo el gas de producto en el extremo de producto del primer lecho adsorbente, en la que el gas de producto se proporciona a partir del extremo de producto de un lecho adsorbente que está experimentando la etapa 2. Al final de la presente etapa, el primer lecho adsorbente está listo para comenzar la etapa 1.

Las etapas 1 a 8 se repiten de forma cíclica. En el presente ejemplo, el componente más fuertemente adsorbido es nitrógeno y el componente menos fuertemente adsorbido es oxígeno, pero el ciclo puede usarse para separar otras mezclas de gas.

Una tabla de ciclos que muestra el proceso de ocho etapas que se describe anteriormente se da en la tabla 1 que muestra la relación de las etapas entre el primer lecho que se describe anteriormente (el lecho 1) y los otros tres lechos (los lechos 2, 3 y 4).

Tabla 1

Tabla de ciclos para un proceso de PSA de cuatro lechos								
Lecho	Etapa de proceso							
1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	7	8	1	2	3	4	5	6
3	5	6	7	8	1	2	3	4
4	3	4	5	6	7	8	1	2

La duración de todas las etapas de proceso 1–8 puede ser igual. Alternativamente, cada una de las etapas 1, 3, 5 y 7 puede tener una primera duración igual y cada una de las etapas 2, 4, 6 y 8 puede tener una segunda duración igual más corta o más larga que la primera duración. Un tiempo de ciclo total típico puede encontrarse en el intervalo de 20 a 300 segundos.

Una representación gráfica de las etapas de ciclo de PSA 1–8 para los lechos 1–4 junto con las posiciones respectivas de la válvula de múltiples orificios giratorios indexados 217 se da en la figura 5, en la que cada una de las salidas de válvula 1, 2, 3 y 4 se encuentra en una comunicación de flujo con las salidas de extremo de producto de los lechos adsorbentes 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Las salidas de válvula 1, 2, 3 y 4 se corresponden con las salidas de la válvula 217 de la figura 2 que se conectan a las líneas 219, 221, 223 y 225, respectivamente. Los lechos 1, 2, 3 y 4 de la figura 5 se corresponden con los recipientes 101, 103, 105 y 107, respectivamente, de la figura 2. Las salidas 1, 2, 3 y 4 en la válvula de la figura 5 se encuentran en una comunicación de flujo con los pasos de cuerpo de válvula 319, 317, 315 y 321, respectivamente, de la figura 3. Los pasos en la válvula de miembro giratorio de la figura 5 se corresponden con los pasos 301, 311 y 313 de la figura 3.

En la etapa 1 de la figura 5, la válvula de múltiples orificios giratorios indexados coloca los extremos de producto de los lechos 2 y 4 en una comunicación de flujo. En la etapa 2, la válvula coloca los extremos de producto de los lechos 1 y 2 en una comunicación de flujo y los extremos de producto de los lechos 3 y 4 en una comunicación de flujo. En la etapa 3, la válvula coloca los extremos de producto de los lechos 1 y 3 en una comunicación de flujo. En la etapa 4, la válvula coloca los extremos de producto de los lechos 1 y 4 en una comunicación de flujo y los extremos de producto de los lechos 2 y 3 en una comunicación de flujo. En la etapa 5, la válvula coloca los extremos de producto de los lechos 2 y 4 en una comunicación de flujo. En la etapa 6, la válvula coloca los extremos de producto de los lechos 1 y 2 en una comunicación de flujo y los extremos de producto de los lechos 3 y 4 en una comunicación de flujo. En la etapa 7, la válvula coloca los extremos de producto de los lechos 1 y 3 en una comunicación de flujo. En la etapa 8, la válvula coloca los extremos de producto de los lechos 2 y 3 en una comunicación de flujo y los extremos de producto de los lechos 1 y 4 en una comunicación de flujo. Los tiempos transcurridos durante los cuales la válvula está fija sin rotación alguna en cada una de las etapas 1, 3, 5 y 7 son iguales, y esto establece la duración de estas etapas. Los tiempos transcurridos en los que la válvula está indexada en cada una de las etapas 2, 4, 6 y 8 son iguales, y esto establece la duración de estas etapas. El tiempo transcurrido de las etapas 1, 3, 5 y 7 puede ser igual a, o diferente de, el tiempo transcurrido de las etapas 2, 4, 6 y 8.

La válvula 229 de la figura 2 funciona como una válvula de derivación colocando la línea de alimentación 251 en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del lecho 1 durante las etapas 1 y 2, el extremo de alimentación del lecho 2 durante las etapas 3 y 4, el extremo de alimentación del lecho 3 durante las etapas 5 y 6, y el extremo de alimentación del lecho 4 durante las etapas 7 y 8. La válvula 231 de la figura 2 funciona como una válvula de derivación colocando una línea de gas de desecho 261 en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del lecho 3 durante las etapas 1 y 2, el extremo de alimentación del lecho 4 durante las etapas 3 y 4, el extremo de alimentación del lecho 1 durante las etapas 5 y 6, y la entrada de alimentación del lecho 2 durante las etapas 7 y 8.

En el presente ciclo, el gas de purga se proporciona a partir de un lecho después de que el lecho proporcione el gas de presurización a otro lecho. En esta secuencia, el frente de componente más fuertemente adsorbido se encuentra lo más cerca del extremo de producto del lecho cuando se retira el gas de purga, haciendo de este modo este gas más concentrado en el componente más fuertemente adsorbido (es decir, "más sucio") que el gas de presurización. Este gas de purga "más sucio" es ventajoso en el presente proceso, debido a que las etapas de represurización contracorriente posteriores empujan el gas de purga hacia el extremo de alimentación con un gas que está menos concentrado en el componente más fuertemente adsorbido. Puede ser preferible usar en algunos casos un gas "más limpio" para el purgado, y muchos ciclos de PSA conocidos usan el gas de producto a partir de un depósito de compensación o de producto bien mezclado para proporcionar una purga. En la configuración de proceso de la figura 2, no obstante, no es posible proporcionar el gas de purga a partir del depósito de producto 151 sin usar válvulas de bloqueo de conmutación y un controlador asociado. Debido a que se desea eliminar el uso de estas válvulas, la etapa de provisión de gas de purga (la etapa 4) sigue la etapa de provisión de gas de presurización de compensación (la etapa 3) en el ciclo de PSA que se describe anteriormente. Se ha encontrado que el presente ciclo con LiLSX puede usarse para la producción de 3 a 10 ton/día de oxígeno con una pureza de producto de un 90 % en vol de oxígeno y una recuperación de oxígeno de un 60 % y más alta.

El uso de las válvulas de múltiples orificios giratorios indexados se ilustra anteriormente para un sistema de cuatro lechos que funciona en el ciclo de ocho etapas que se describe, pero las válvulas del presente tipo pueden usarse en unos sistemas con otras cantidades de lechos y otros ciclos de PSA. Esto puede lograrse seleccionando la cantidad y el alineamiento adecuado de los pasos en el miembro giratorio y el cuerpo de válvula y conectando las válvulas con los recipientes de sustancia adsorbente con un sistema de tuberías seleccionado de forma adecuada. Las válvulas de múltiples orificios giratorios indexados pueden usarse en los sistemas de PSA para la separación de cualquier mezcla de gas y se ilustra mediante la recuperación de oxígeno a partir del aire tal como se describe anteriormente. Los sistemas de separación de PSA con unas válvulas de múltiples orificios giratorios indexados pueden usarse, por ejemplo, en la recuperación de nitrógeno a partir del aire, la recuperación de hidrógeno a partir de mezclas que contienen hidrógeno y la purificación del helio.

Ejemplo

Un sistema de adsorción de oscilación de vacío – presión de oxígeno de 4 lechos tal como se ilustra en la figura 2 produce 2.500 litros por minuto de producto a una pureza de un 90 % de oxígeno a una temperatura ambiente de 42 °F (5,6 °C). El sistema comprende dos desplazadores de aire accionados por motores Baldor, un soplador de lóbulo giratorio Tuthill 5509 para la alimentación y un soplador de lóbulo giratorio Tuthill 5518 para el servicio de vacío. Los recipientes de adsorbente contienen una capa de NaX, que comprende un 20 % de la altura del lecho en el extremo de alimentación del recipiente, y un 80 % altura del lecho de sustancia adsorbente de LiX; ambas sustancias adsorbentes tienen un diámetro de partícula promedio de aproximadamente 1,8 mm. Las columnas de adsorbente son de un diámetro de 30 pulgadas (76,2 cm) y la altura de la sustancia adsorbente total del lecho es de 60 pulgadas (152,4 cm). El gas de alimentación se dirige a través de una válvula esférica conectada a los extremos de alimentación de los recipientes de adsorbente. El gas de vacío se dirige a través de una válvula esférica separada y se conecta a los extremos de producto de los recipientes, una tubería se conecta

ES 2 391 856 T3

5 desde los recipientes hasta una única válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados que dirige el flujo durante las etapas de compensación y purga. La válvula realiza ciclos a través de ocho posiciones discretas durante el proceso. El sistema se acciona en un ciclo de 8 etapas en el que cada una de las etapas 1, 3, 5 y 7 tiene una duración de 7,0 segundos, y cada una de las etapas 2, 4, 6 y 8 tiene una duración de 5,9 segundos. El tiempo de ciclo total es de 52 segundos. El lecho realiza ciclos desde una presión mínima de -12 pulgadas de Hg (-4,06 kPa) hasta una presión máxima de 9 psig (62,1 kPa manométricos). La presión de producto varía de 7,5 a 9,0 psig (de 51,7 a 62,1 kPa manométricos).

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de adsorción de oscilación de presión que comprende

- 5 (a) una pluralidad de recipientes (101, 103, 105, 107), teniendo cada recipiente un extremo de alimentación, un extremo de producto y material de sustancia adsorbente adaptado para adsorber uno o más componentes a partir de una mezcla de gas de alimentación de múltiples componentes;
- 10 (b) una tubería (243, 245, 247, 249) adaptada para introducir la mezcla de gas de alimentación en los extremos de alimentación de los recipientes (101, 103, 105, 107), una tubería (201, 203, 205, 207) adaptada para retirar un gas de producto a partir de los extremos de producto de los recipientes y una tubería (253, 255, 257, 259) adaptada para retirar un gas de desecho a partir de los extremos de alimentación de los recipientes;
- (c) un tubo de alimentación (251) adaptado para suministrar la mezcla de gas de alimentación al sistema, un tubo de producto (149) adaptado para retirar el gas de producto del sistema y un tubo de gas de desecho (261) adaptado para retirar el gas de desecho del sistema;
- 15 (d) una válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados (217) que comprende:
- (e) un miembro giratorio (305) adaptado para su rotación alrededor de un eje (301) y que tiene una primera sección transversal circular perpendicular al eje (301), en el que el miembro giratorio tiene una superficie exterior no plana y comprende unos pasos (309, 311, 313) a través del miembro giratorio;
- 20 (f) un cuerpo de válvula (303) que rodea el miembro giratorio (305), en el que el cuerpo de válvula (303) es coaxial con el miembro giratorio (305) y tiene una superficie interior no plana opuesta a la superficie exterior no plana del miembro giratorio (305) y una superficie exterior, y en el que el cuerpo de válvula (303) comprende una pluralidad de pasos (315, 317, 319, 321) entre la superficie interior no plana y la superficie exterior;
- (g) un motor de accionamiento de válvula de indexación (227) adaptado para girar el miembro giratorio (305) de forma intermitente para colocar el miembro giratorio (305) de forma secuencial en una serie de posiciones circunferenciales fijas alrededor de la periferia de la sección transversal circular en relación con el cuerpo de válvula (303) para alinear unos pasos seleccionados en el miembro giratorio (305) con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula (303); en el que
- 25 (h) la pluralidad de recipientes (101, 103, 105, 107) comprende más de dos recipientes;
- (i) el sistema comprende una tubería (219, 221, 223, 225) adaptada para colocar los extremos de producto de cualquier par de la pluralidad de recipientes (101, 103, 105, 107) en una comunicación de flujo;
- 30 (k) dicha válvula de producto (217) está adaptada para colocar el extremo de producto de cada uno de los recipientes (101, 103, 105, 107) de dicha pluralidad en una comunicación de flujo secuencial con el extremo de producto de cada uno de los otros recipientes (101, 103, 105, 107) de dicha pluralidad; y
- (l) el motor de accionamiento de válvula (227) está adaptado para girar el miembro giratorio (305) en un único sentido de rotación de forma secuencial en dicha serie de posiciones circunferenciales fijas, de tal modo que el miembro giratorio (305) vuelve a una posición fija dada durante cada revolución alrededor de su eje (301).

2. El sistema de la reivindicación 1, que comprende una válvula de alimentación de múltiples orificios giratorios indexados (229) adaptada para colocar el tubo de alimentación (251) en una comunicación de flujo secuencial con el extremo de alimentación de cada recipiente (101, 103, 105, 107).

3. El sistema de la reivindicación 2, que comprende una válvula de gas de desecho de múltiples orificios giratorios indexados (231) adaptada para colocar el tubo de gas de desecho (261) en una comunicación de flujo secuencial con el extremo de alimentación de cada recipiente (101, 103, 105, 107).

4. El sistema de la reivindicación 1, que comprende un temporizador adaptado para controlar el motor de accionamiento de válvula de indexación (227).

5. El sistema de la reivindicación 3, que comprende un motor de accionamiento de válvula de indexación adicional (233) adaptado para accionar cualquiera de la válvula de gas de alimentación de múltiples orificios giratorios indexados (229) y la válvula de gas de desecho de producto de múltiples orificios giratorios indexados (231), y un temporizador adaptado para controlar el motor de accionamiento de válvula de indexación adicional (233).

6. El sistema de la reivindicación 1, que comprende un soplador de gas de alimentación (109) adaptado para proporcionar un gas de alimentación presurizado al tubo de gas de alimentación (251).

7. El sistema de la reivindicación 6, que comprende un soplador de evacuación de gas de desecho (111) adaptado para retirar el gas de desecho del tubo de gas de desecho (261).

8. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha pluralidad de recipientes comprende cuatro recipientes (101, 103, 105, 107).

9. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha pluralidad de recipientes comprende unos recipientes primero, segundo, tercero y cuarto, teniendo cada recipiente un extremo de alimentación, un extremo de producto y material de sustancia adsorbente adaptado para adsorber un componente que está seleccionado de una mezcla de gas de alimentación;

una tubería está adaptada para colocar los extremos de producto de cualquier par de los recipientes en una comunicación de flujo; y dicha válvula de producto (217) tiene ocho posiciones indexadas en las que

- 5 (1) en una primera posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y cuarto en una comunicación de flujo;
 (2) en una segunda posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes tercero y cuarto en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y segundo en una comunicación de flujo;
 10 (3) en una tercera posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y tercero en una comunicación de flujo;
 (4) en una cuarta posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y cuarto en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y tercero en una comunicación de flujo;
 15 (5) en una quinta posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y cuarto en una comunicación de flujo;
 (6) en una sexta posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y segundo en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes tercero y cuarto en una comunicación de flujo;
 20 (7) en una séptima posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y tercero en una comunicación de flujo;
 (8) en una octava posición indexada la válvula de producto está adaptada para colocar los extremos de producto de los recipientes primero y cuarto en una comunicación de flujo y para colocar los extremos de producto de los recipientes segundo y tercero en una comunicación de flujo.

25 10. El sistema de la reivindicación 9, en el que la válvula de producto (217) está adaptada para (1) evitar la comunicación de flujo entre los extremos de producto de los recipientes primero y tercero cuando la válvula de producto se encuentra en las posiciones indexadas primera y quinta y (2) evitar la comunicación de flujo entre los extremos de producto de los recipientes segundo y cuarto cuando la válvula de producto se encuentra en las
 30 posiciones indexadas tercera y séptima.

11. El sistema de la reivindicación 9, que comprende una válvula de gas de alimentación de múltiples orificios giratorios indexados (229) que tiene cuatro posiciones indexadas en las que

- 35 (1) en una primera posición indexada, la válvula de gas de alimentación está adaptada para colocar el tubo de alimentación en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del primer recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas primera y segunda;
 (2) en una segunda posición indexada que sigue a (1) anterior, la válvula de gas de alimentación está adaptada para colocar el tubo de alimentación en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del segundo
 40 recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas tercera y cuarta;
 (3) en una tercera posición indexada que sigue a (2) anterior, la válvula de gas de alimentación está adaptada para colocar el tubo de alimentación en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del tercer
 45 recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas quinta y sexta;
 (4) en una cuarta posición indexada que sigue a (3) anterior, la válvula de gas de alimentación está adaptada para colocar el tubo de alimentación en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del cuarto
 50 recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas séptima y octava.

12. El sistema de la reivindicación 11, que comprende una válvula de gas de desecho de múltiples orificios giratorios indexados (231) que tiene cuatro posiciones indexadas en las que

- 55 (1) en una primera posición indexada, la válvula de gas de desecho está adaptada para colocar el tubo de gas de desecho en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del tercer recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas primera y segunda;
 (2) en una segunda posición indexada que sigue a (1) anterior, la válvula de gas de desecho está adaptada para
 60 colocar el tubo de gas de desecho en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del cuarto recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas tercera y cuarta;
 (3) en una tercera posición indexada que sigue a (2) anterior, la válvula de gas de desecho está adaptada para colocar el tubo de gas de desecho en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del primer
 65 recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas quinta y sexta;

(4) en una cuarta posición indexada que sigue a (3) anterior, la válvula de gas de desecho está adaptada para colocar el tubo de gas de desecho en una comunicación de flujo con el extremo de alimentación del segundo recipiente mientras que la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados se encuentra en sus posiciones indexadas séptima y octava.

5 13. El sistema de la reivindicación 9, en el que el material de sustancia adsorbente comprende una sustancia adsorbente que está seleccionado del grupo que consiste en CaA, NaX, CaX, LiX, y LiLSX.

10 14. El sistema de la reivindicación 1, que comprende dos o más válvulas de retención (209, 211, 213, 215), estando cada válvula de retención dispuesta entre el extremo de producto de un recipiente respectivo y el tubo de producto (149), en el que cada válvula de retención está adaptada para permitir que el gas de producto fluya desde el extremo de producto del recipiente respectivo al interior del tubo de producto (149) y para evitar que el gas de producto fluya desde el tubo de producto (149) al interior del extremo de producto del recipiente respectivo.

15 15. Un procedimiento para la recuperación de un componente menos fuertemente adsorbible a partir de una mezcla de gas de alimentación que comprende un componente más fuertemente adsorbible y un componente menos fuertemente adsorbible, en el que el procedimiento comprende:

20 (a) proporcionar un sistema de adsorción de oscilación de presión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 y 19 a 22

(b) introducir la mezcla de gas de alimentación en un primer recipiente y retirar el gas de producto empobrecido en el componente más fuertemente adsorbible del primer recipiente y a través del tubo de producto (149);

25 (c) despresurizar el primer recipiente retirando el gas de despresurización del extremo de producto del recipiente y transferir el gas de despresurización al extremo de producto de otro recipiente a través de la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados (217) en una de las posiciones de rotación indexadas;

(d) retirar el gas de desecho enriquecido en el componente más fuertemente adsorbible del extremo de alimentación del primer recipiente;

30 (e) presurizar el primer recipiente introduciendo en el extremo de producto del recipiente un gas de despresurización que se proporciona a partir de otro recipiente que está experimentando la etapa (c), en la que el gas se transfiere a través de la válvula de producto de múltiples orificios giratorios indexados (217) en otra de las posiciones de rotación indexadas;

(f) repetir las etapas (b) a (e) de forma cíclica.

35 16. El procedimiento de la reivindicación 15, en el que el sistema de adsorción de oscilación de presión comprende una válvula de gas de alimentación de múltiples orificios giratorios indexados (229) que tiene una pluralidad de posiciones indexadas adaptadas para colocar el tubo de alimentación (251) en una comunicación de flujo secuencial con el extremo de alimentación de cada recipiente, y en el que el gas de alimentación en la etapa (b) se introduce desde el tubo de alimentación (251) en el extremo de alimentación del primer recipiente a través de la válvula de gas de alimentación de múltiples orificios giratorios indexados (229) en una de la pluralidad de posiciones indexadas.

40 17. El procedimiento de la reivindicación 16, en el que el sistema de adsorción de oscilación de presión comprende una válvula de gas de desecho de múltiples orificios giratorios indexados (231) que tiene una pluralidad de posiciones indexadas adaptadas para colocar el tubo de gas de desecho (261) en una comunicación de flujo secuencial con el extremo de alimentación de cada recipiente, y en el que el gas de desecho en la etapa (d) se retira del extremo de alimentación del primer recipiente al interior del tubo de gas de desecho (261) a través de la válvula de gas de desecho de múltiples orificios giratorios indexados (231) en una de la pluralidad de posiciones indexadas.

50 18. El procedimiento de la reivindicación 15, en el que la mezcla de gas de alimentación es aire, el componente menos fuertemente adsorbible es oxígeno y el componente más fuertemente adsorbible es nitrógeno.

19. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1–14, en el que dicho miembro giratorio (305) comprende un primer, un segundo y un tercer paso (309, 311, 313) a través del miembro giratorio (305);

55 el cuerpo de válvula comprende unos pasos primero, segundo, tercero y cuarto (315, 317, 319, 321) entre la superficie interior no plana y la superficie exterior; y

60 el motor de accionamiento de válvula de indexación (229) está adaptado para girar el miembro giratorio (305) de forma intermitente en un único sentido de rotación para colocar el miembro giratorio (305) de forma secuencial en cada una de ocho posiciones circunferenciales diferentes alrededor de la periferia de la sección transversal circular en relación con el cuerpo de válvula (303) para alinear unos pasos seleccionados (309, 311, 313) en el miembro giratorio (305) con unos pasos seleccionados (315, 317, 319, 321) en el cuerpo de válvula (303).

20. El sistema de la reivindicación 19, en el que uno cualquiera de los pasos primero, segundo, y tercero (309, 311, 313) del miembro giratorio (305) tiene un área de flujo en sección transversal diferente de cualquiera de los otros dos pasos.

65

21. El sistema de la reivindicación 19, en el que el miembro giratorio (305) está adaptado para una rotación intermitente en el interior de la superficie interior del cuerpo de válvula de tal modo que

(1) el primer paso en el miembro giratorio (305) se encuentra en una comunicación de flujo con los pasos primero y segundo en el cuerpo de válvula (303) mientras que los pasos segundo y tercero en el miembro giratorio no se encuentran en una comunicación de flujo con paso alguno en el cuerpo de válvula, y (2) el primer paso en el miembro giratorio se encuentra en una comunicación de flujo con los pasos tercero y cuarto en el cuerpo de válvula mientras que los pasos segundo y tercero en el miembro giratorio no se encuentran en una comunicación de flujo con paso alguno en el cuerpo de válvula, y (3) uno de los pasos segundo o tercero en el miembro giratorio se encuentra en una comunicación de flujo con los pasos primero y cuarto en el cuerpo de válvula mientras que el primer paso en el miembro giratorio no se encuentra en una comunicación de flujo con paso alguno en el cuerpo de válvula, y

(4) uno de los pasos segundo o tercero en el miembro giratorio se encuentra en una comunicación de flujo con los pasos segundo y tercero en el cuerpo de válvula mientras que el primer paso en el miembro giratorio no se encuentra en una comunicación de flujo con paso alguno en el cuerpo de válvula.

22. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 y 19 a 21, en el que el miembro giratorio (305) comprende

(1) unas aberturas primera, segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta en la superficie exterior que están dispuestas alrededor de la periferia de la primera sección transversal circular, en las que

la primera abertura (309a) y la segunda abertura (309b) están separadas por dos arcos iguales de 180 grados alrededor de la periferia de la primera sección transversal circular

las aberturas tercera y cuarta (311 a, 311 b) están dispuestas a lo largo de uno de los dos arcos iguales que separan las aberturas primera y segunda, la tercera abertura está separada de la cuarta abertura por un arco de 90 grados sobre la periferia, la tercera abertura está separada de la primera abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia, y la cuarta abertura está separada de la segunda abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia, y

las aberturas quinta y sexta (313a, 313b) están dispuestas a lo largo del otro de los dos arcos iguales que separan las aberturas primera y segunda, la quinta abertura está separada de la sexta abertura por un arco de 90 grados sobre la periferia, la quinta abertura está separada de la primera abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia y la sexta abertura está separada de la segunda abertura por un arco de 45 grados sobre la periferia, y

(2) un primer paso (309) a través del miembro giratorio (305) que conecta la primera abertura con la segunda abertura, un segundo paso (311) a través del miembro giratorio que conecta la tercera abertura con la cuarta abertura, y un tercer paso (313) a través del miembro giratorio que conecta la quinta abertura con la sexta abertura;

(b) dicho cuerpo de válvula (303) tiene una segunda sección transversal circular que es perpendicular al eje del miembro giratorio, una periferia de la segunda sección transversal circular que se encuentra en el mismo plano que la periferia de la primera sección transversal circular del miembro giratorio, dicha superficie interior no plana y dicha superficie exterior, y en el que el cuerpo de válvula (303) comprende

(1) unas aberturas primera, segunda, tercera y cuarta en la superficie interior no plana que están dispuestas alrededor de la periferia de la segunda sección transversal circular, en las que cada abertura está separada de cada abertura adyacente por un arco de 90 grados sobre esta periferia;

(2) unas aberturas primera, segunda, tercera y cuarta en la superficie exterior del alojamiento, y

(3) un primer paso (315) a través del cuerpo de válvula (303) que conecta la primera abertura en la superficie interior con la primera abertura en la superficie exterior, un segundo paso (317) a través del cuerpo de válvula que conecta la segunda abertura en la superficie interior con la segunda abertura en la superficie exterior, un tercer paso (319) a través del cuerpo de válvula que conecta la tercera abertura en la superficie interior con la tercera abertura en la superficie exterior, y un cuarto paso (321) a través del cuerpo de válvula que conecta la cuarta abertura en la superficie interior con la cuarta abertura en la superficie exterior; y

(c) dicho motor de accionamiento de válvula de indexación (227) está adaptado para girar el miembro giratorio (305) de forma intermitente en un único sentido de rotación para colocar el miembro giratorio de forma secuencial en cada una de ocho posiciones circunferenciales diferentes alrededor de la periferia de la sección transversal circular en relación con el cuerpo de válvula (303) para alinear unos pasos seleccionados en el miembro giratorio (303) con unos pasos seleccionados en el cuerpo de válvula (303).

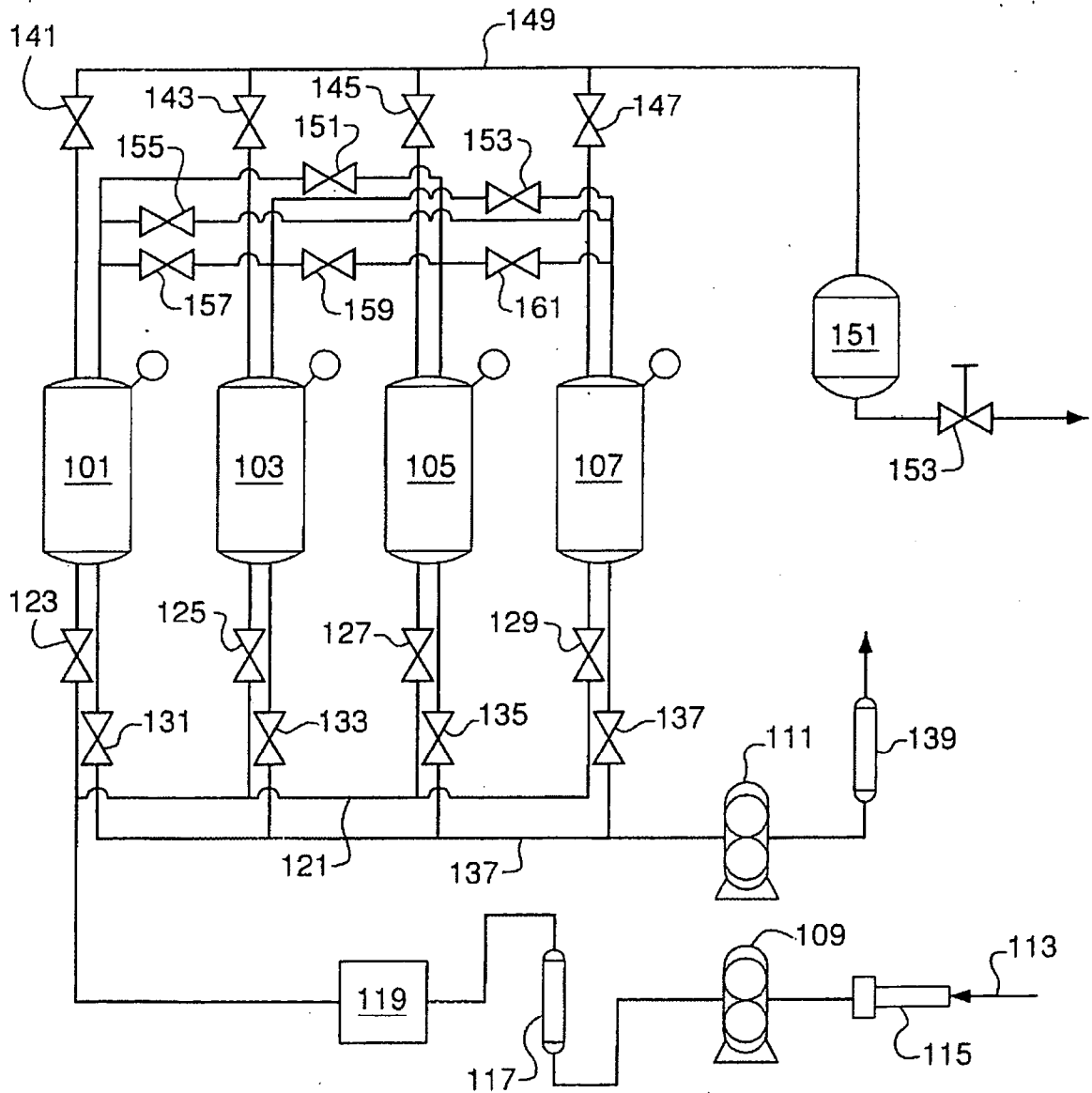


FIG. 1

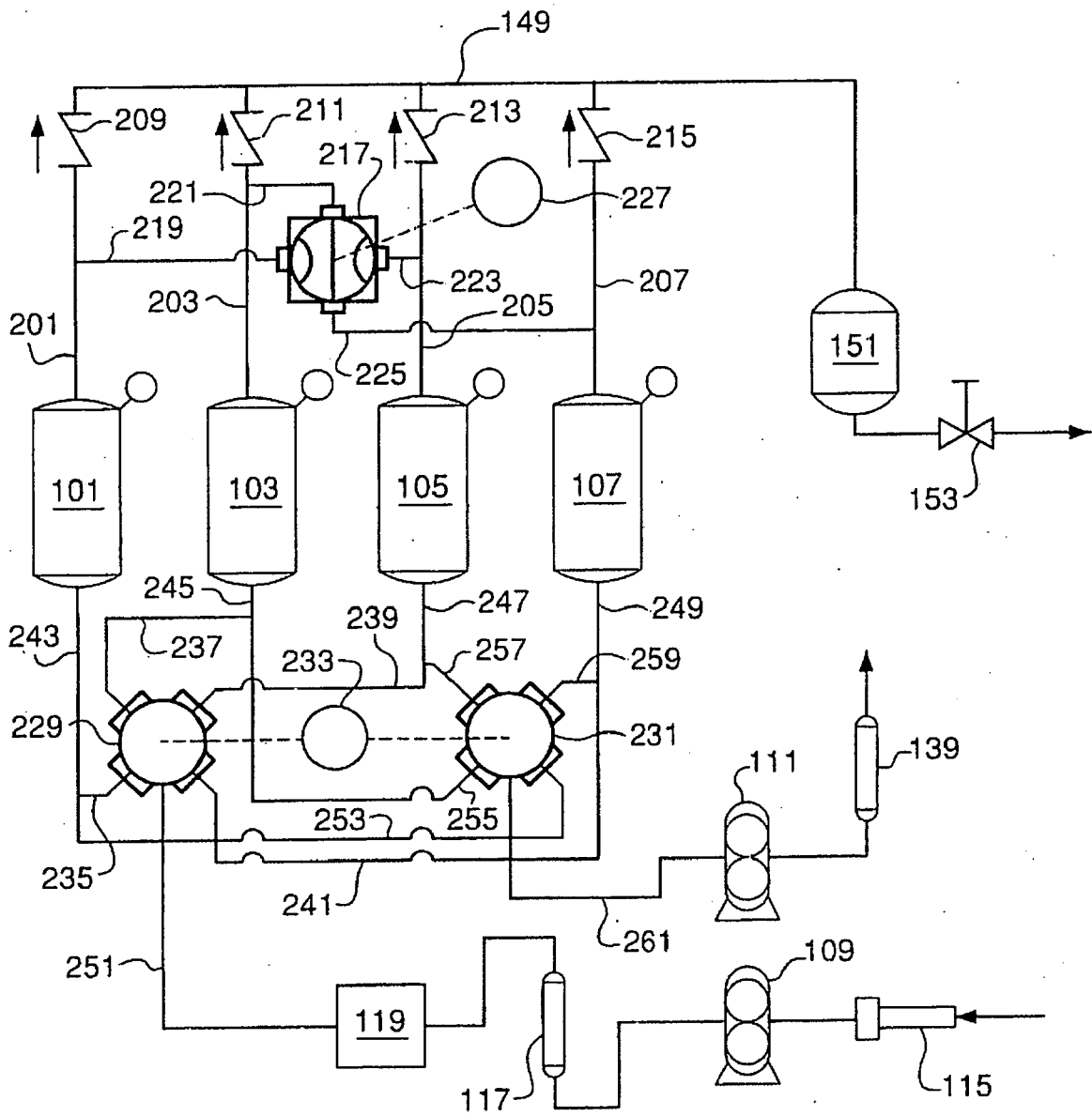


FIG. 2

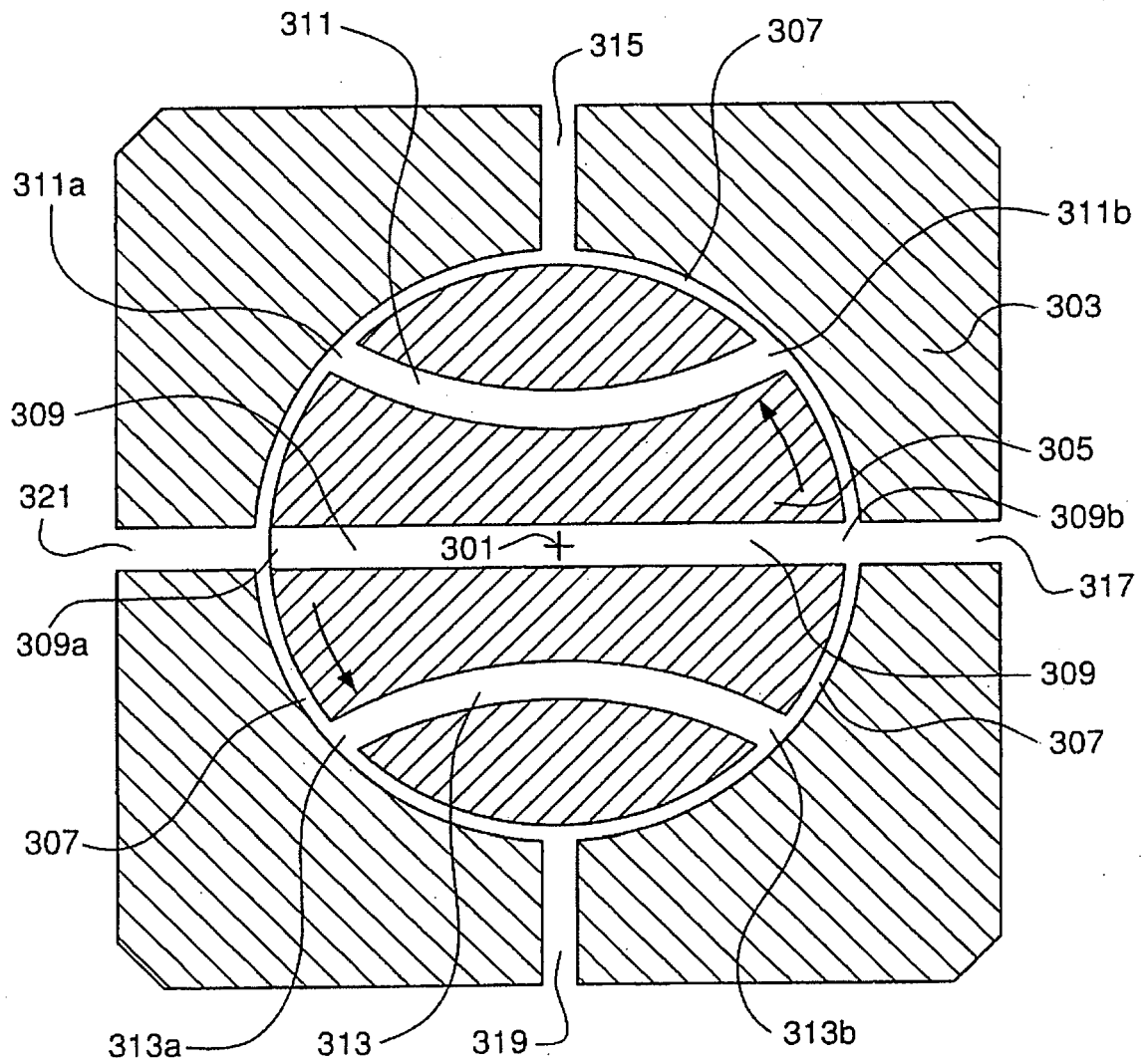


FIG. 3

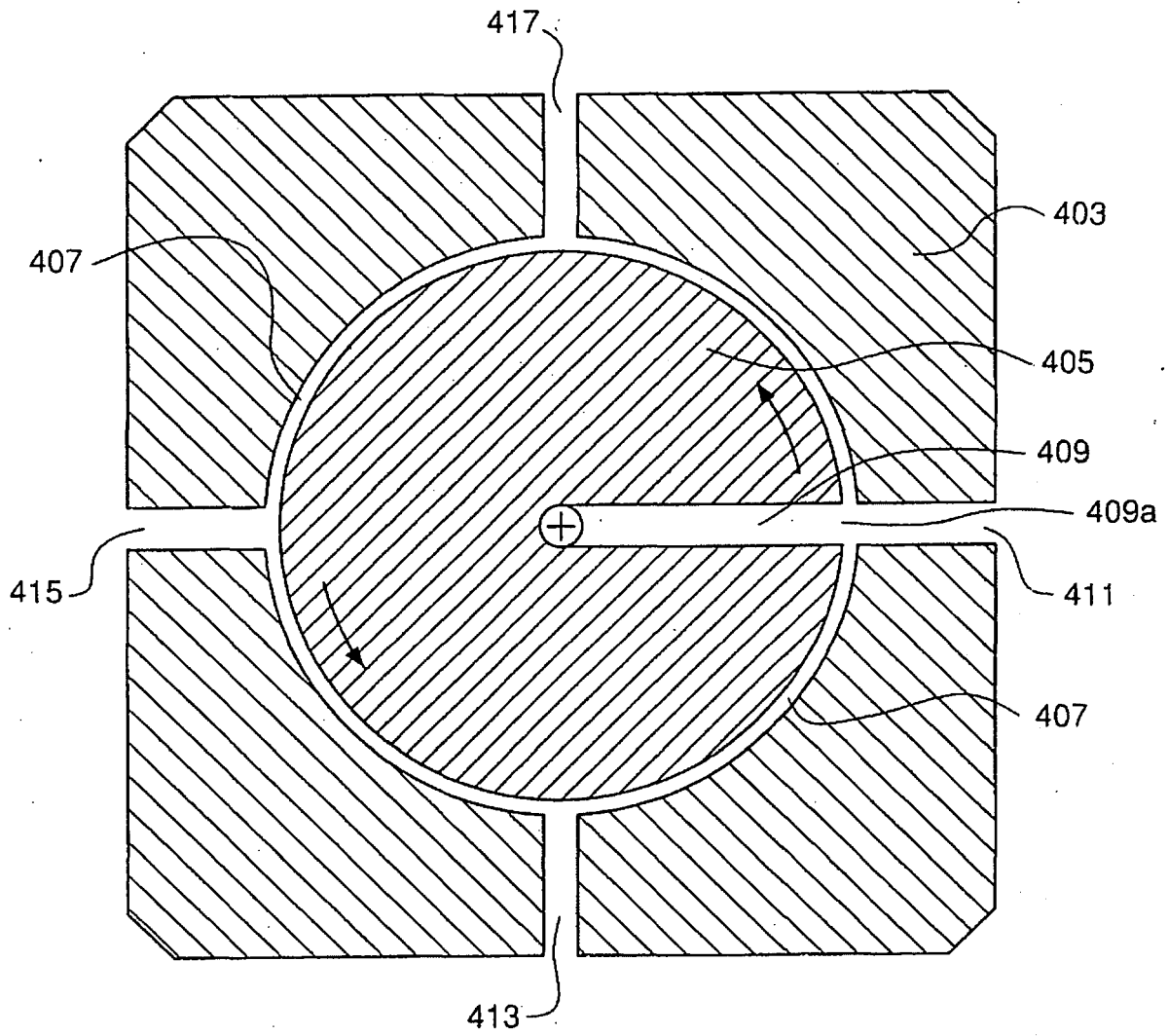


FIG. 4

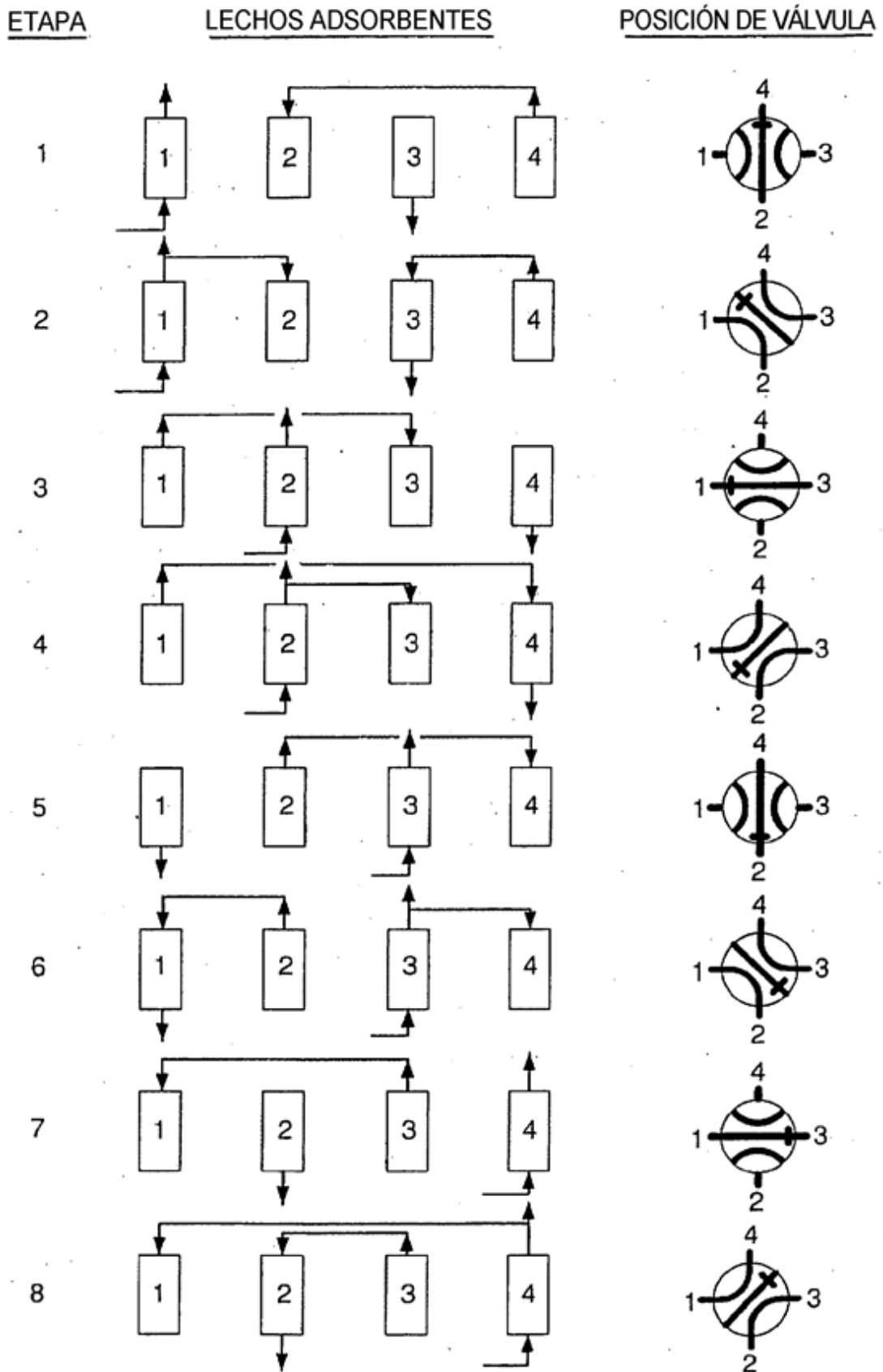


FIG. 5