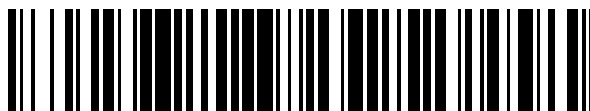


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 424**

51 Int. Cl.:
B01D 53/053 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **03759266 .4**
96 Fecha de presentación: **10.10.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1549413**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.07.2005**

54 Título: **Ciclos PSA de alta recuperación con complejidad reducida**

30 Prioridad:
11.10.2002 US 269064

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.08.2012

73 Titular/es:
**LUMMUS TECHNOLOGY INC.
1515 BROAD STREET
BLOOMFIELD, NJ 07930, US**

72 Inventor/es:
LOMAX, Franklin D., Jr.

74 Agente/Representante:
Linage González, Rafael

ES 2 386 424 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

Ciclos PSA de alta recuperación con complejidad reducida.

Antecedentes de la invención

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas de adsorción por cambios de presión y a procesos para efectuar adsorción por cambios de presión.

10

Discusión de los antecedentes

La adsorción por cambios de presión (PSA, *Pressure Swing Adsorption*) es una técnica utilizada para fraccionar mezclas de gases para proporcionar al menos un gas de producto purificado y una mezcla de subproductos refinados. La PSA se ha utilizado de manera satisfactoria para separar hidrógeno de otros gases, oxígeno y nitrógeno del aire, helio del gas natural, entre otros.

15

Los primeros sistemas PSA utilizaban generalmente cuatro recipientes adsorbentes dispuestos en paralelo. Un ejemplo es la patente de EE.UU. nº 3.430.418 a nombre de Wagner. Posteriores mejoras en el proceso de Wagner añadieron una etapa de igualación de presión adicional manteniendo al mismo tiempo cuatro lechos adsorbentes (por ejemplo, la patente de EE.UU. nº 3.564.816 a nombre de Batta) y posteriormente se añadieron más etapas de igualación de presión con siete o más lechos en la patente de EE.UU. nº 3.986.849 a nombre de Fuderer et al. Estos incrementos en el número de igualaciones de presión y en el número de recipientes adsorbentes se implementaron para mejorar la recuperación del producto y la productividad del adsorbente. Desafortunadamente, la mejora del rendimiento suponía un aumento en el número de válvulas requeridas, de treinta y una válvulas en el proceso de Wagner hasta treinta y tres en el proceso de Batta y hasta un mínimo de cuarenta y cuatro para el proceso de Fuderer et al.

20

25

El rendimiento de los ciclos PSA se mide normalmente según varios criterios. El primero es la recuperación del producto a un nivel de impureza dado, la fracción de la variedad de producto en el flujo de alimentación total que se suministra como producto purificado. Una segunda medida es la productividad del adsorbente, que está relacionada con la proporción del ciclo PSA durante el cual se suministra el producto en comparación con la longitud total del ciclo. Con el fin de maximizar uno o ambos de estos parámetros en composiciones de alimentación fijas, en otros sistemas se han descrito varios enfoques.

30

35

Wagner describe la utilización de gas almacenado en los lechos presurizados para volver a presurizar un lecho que haya sido purgado y después purgar otro recipiente antes de que se agote la presión en el primer recipiente. Batta describe posteriormente que podría añadirse una segunda igualación de presión a la primera y que esto mejoraría la recuperación en gran medida. Batta mantuvo el suministro de gas de purga en su ciclo. Fuderer et al. ampliaron este enfoque a una tercera igualación de presión y mostraron que el gas más puro extraído de un lecho debería ser siempre el último gas introducido en cualquier otro lecho que esté volviéndose a presurizar. El ciclo de cuatro recipientes de Batta está constituido de tal modo que se introduce gas menos puro que el realmente deseable en el recipiente que está presurizándose. Además, la invención de Fuderer et al. permitía una mayor productividad del adsorbente que la que se conseguía con los ciclos anteriores, ya que la fracción de tiempo en el ciclo asignado a la adsorción era mayor debido a los detalles de la lógica de conmutación de válvulas.

40

45

Aunque estos procedimientos proporcionan una recuperación del producto y una productividad del adsorbente excelentes, lo consiguen a expensas de un alto grado de complejidad. El proceso original de Wagner utilizaba cuatro recipientes y treinta y una válvulas para proporcionar una igualación de presión y la purga de otro recipiente. Batta aumentó este total a treinta y tres válvulas y cuatro recipientes para su ciclo con dos igualaciones. Ambos ciclos de cuatro lechos producen gas a partir de un recipiente dado el veinticinco por ciento de las veces. Batta proporcionó además un sistema de cinco recipientes con cuarenta y tres válvulas para reordenar las igualaciones y proporcionar la represurización deseada con gases cada vez más puros. Este ciclo sólo era productivo con un recipiente dado el veinte por ciento de las veces. El ciclo más simple de Fuderer et al. que proporciona tres igualaciones y una etapa de purga requería nueve recipientes y cincuenta y cinco válvulas. Este ciclo era productivo el treinta y tres por ciento de las veces, un incremento considerable con respecto a los ciclos de Batta y Wagner. Aunque estos ciclos progresaron en las áreas críticas de recuperación y productividad, lo hicieron a expensas de una complejidad mecánica mucho mayor. Este aumento en la complejidad va acompañado de aumentos en el volumen, masa, tiempo de ensamblaje y coste capital del sistema. Además, el gran incremento en el número de válvulas en el tiempo reduce significativamente la fiabilidad del sistema PSA, ya que los sistemas PSA son sistemas de un solo punto de fallo, los cuales deben apagarse si falla una válvula.

50

55

60

Se han realizado intentos para reducir la complejidad con el fin de afrontar los problemas relacionados. La patente de EE.UU. nº 4.761.165 a nombre de Stöcker implementó el proceso de Wagner utilizando cuatro recipientes y dieciocho válvulas, de las cuales cuatro podían ser válvulas controladas proporcionalmente. La patente de EE.UU. nº

65

6.146.450 a nombre de Duhayer et al. describe un medio para reducir la complejidad introduciendo accesorios de tubería de manera óptima, aunque este enfoque no altera sustancialmente el ciclo PSA en lo que respecta al número de válvulas o recipientes. Una simplificación mecánica mucho más radical se ha descrito en una solicitud titulada "METHOD AND APPARATUS FOR PRESSURE SWING ADSORPTION" del inventor Franklin D. Lomax, Jr. et al., presentada junto con la presente, que está basada en la solicitud provisional número 60/370.702 titulada "IMPROVED METHOD AND APPARATUS FOR PRESSURE SWING ADSORPTION", presentada el 9 de abril de 2002.

Aunque el proceso de Stöcker consigue una simplificación sustancial en el número de válvulas utilizadas con respecto al proceso de Wagner, no describe los medios para llevar a cabo una segunda o una tercera igualación de presión para mejorar la recuperación ni describe un aumento en la productividad del adsorbente. Las simplificaciones mecánicas de Duhayer et al. y de Lomax et al., ofrecen ventajas para casi cualquier ciclo PSA, pero no indican específicamente ninguna reducción intrínseca en el número de válvulas o cambios en los ciclos para conseguir una mayor recuperación o productividad del adsorbente sin el mayor uso relacionado de válvulas y recipientes indicado por Batta, Fuderer et al. y otros. Además, ninguna de estas mejoras altera sustancialmente la fiabilidad de los ciclos PSA, ya que los ciclos básicos siguen siendo sistemas de un solo punto de fallo.

El documento US 4761165 desvela un sistema de adsorción de presión (PSA) con una pluralidad de recipientes limitada a cuatro lechos con cuatro válvulas por recipiente y que funciona con una igualación de presión de dos fases.

El documento EP 0529513 desvela un sistema PSA de cuatro o cinco lechos con cinco válvulas 1, 5, 9, 13, 17 y que funciona con una igualación de múltiples fases (figuras 1 y 2).

El documento US 6146450 desvela un sistema PSA con cuatro lechos y cinco válvulas por recipiente y que funciona con una pluralidad de fases de igualación (figuras 2 y 3).

El documento US 6447582 desvela un sistema PSA que comprende 2N adsorbentes con dos conductos de igualación y una igualación de presión de múltiples fases.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona de manera ventajosa ciclos de funcionamiento PSA mejorados que reducen la complejidad del equipo PSA.

Además, la presente invención proporciona de manera ventajosa un procedimiento general para simplificar los ciclos PSA y optimizar la recuperación del producto y la productividad del adsorbente, reduciendo al mismo tiempo simultáneamente la complejidad mecánica utilizando conductos de fluido de igualación en paralelo.

La presente invención proporciona de manera ventajosa un procedimiento para llevar a cabo ciclos PSA mejorados de una manera tolerante a fallos, donde el fallo de una sola válvula no requiere que se apague el sistema.

La presente invención proporciona de manera ventajosa un proceso de adsorción por cambios de presión que incluye la etapa de separar una mezcla de gases absorbiendo al menos un componente de gas en lechos adsorbentes dentro de siete recipientes de adsorción, donde la etapa de separación presenta una igualación de presión de tres fases y se lleva a cabo con no más de cinco válvulas por recipiente de la pluralidad de recipientes.

La presente invención proporciona además de manera ventajosa un proceso de adsorción por cambios de presión para separar una mezcla de gases absorbiendo al menos un componente de gas en lechos adsorbentes previstos en siete recipientes de adsorción, donde la pluralidad de recipientes se hace funcionar de manera cíclica. El proceso incluye una etapa de adsorción, una primera etapa de igualación de presión que presenta tres fases, donde la primera etapa de igualación de presión reduce la presión, una etapa de purga, y una segunda etapa de igualación de presión que presenta tres fases, donde la segunda etapa de igualación de presión aumenta la presión. El proceso se lleva a cabo con no más de cinco válvulas por recipiente de la pluralidad de recipientes.

Por consiguiente, la presente invención se refiere al contenido de la reivindicación 1.

La presente solicitud también proporciona de manera ventajosa un sistema de adsorción por cambios de presión con siete recipientes, presentando cada uno una primera abertura conectada a un colector fuente de entrada a través de una primera válvula y conectada a un colector de salida de residuos a través de una segunda válvula, y una segunda abertura conectada a un colector de salida de producto a través de una tercera válvula y conectada a un conducto de igualación a través de una cuarta válvula y una quinta válvula. El conducto de igualación conecta cada recipiente de los siete recipientes.

Además, la presente solicitud proporciona de manera ventajosa un sistema de adsorción por cambios de presión que incluye siete recipientes, presentando cada uno una primera abertura conectada a un colector fuente de entrada

a través de una primera válvula y conectada a un colector de salida de residuos a través de una segunda válvula, y una segunda abertura conectada a un colector de salida de producto a través de una tercera válvula y conectada a un conducto de igualación a través de una cuarta válvula y una quinta válvula. El conducto de igualación conecta cada recipiente de la pluralidad de recipientes. La cuarta válvula proporciona un primer caudal predeterminado durante un estado abierto, y la quinta válvula proporciona un segundo caudal predeterminado durante un estado abierto.

Breve descripción de los dibujos

10 Una apreciación más completa de la invención y de muchas de sus ventajas intrínsecas resultarán fácilmente evidentes con referencia a la siguiente descripción detallada, en particular cuando se considera junto con los dibujos adjuntos, en los que:

15 la figura 1 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de cuatro recipientes que incluye una igualación de presión de dos fases (no enmarcado en la invención);

la figura 2 ilustra un diagrama de válvulas de un sistema PSA mejorado para llevar a cabo el ciclo PSA de cuatro recipientes de la figura 1 (no enmarcado en la invención);

20 la figura 3 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo PSA de cinco recipientes que incluye una igualación de presión de dos fases (no enmarcado en la invención);

la figura 4 ilustra un diagrama de válvulas de un sistema PSA mejorado para llevar a cabo el ciclo PSA de cinco recipientes de la figura 3 (no enmarcado en la invención);

25 la figura 5 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo PSA de seis recipientes que incluye una igualación de presión de tres fases (no enmarcado en la invención);

30 la figura 6 ilustra un diagrama de válvulas de un sistema PSA mejorado para llevar a cabo el ciclo PSA de seis recipientes de la figura 5 (no enmarcado en la invención);

la figura 7 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo PSA de siete recipientes que incluye una igualación de presión de tres fases;

35 la figura 8 ilustra un diagrama de válvulas de un sistema PSA mejorado para llevar a cabo el ciclo PSA de siete recipientes de la figura 7; y

la figura 9 ilustra un colector de válvulas que se utiliza con la presente invención con características ocultas indicadas mediante líneas discontinuas.

40

Descripción detallada de la invención

A continuación se describirán realizaciones con referencia a los dibujos adjuntos. En la siguiente descripción, los elementos constituyentes que tienen sustancialmente la misma función y disposición están denotados con los mismos números de referencia, proporcionándose descripciones repetitivas sólo cuando sea necesario.

50 La figura 1 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de cuatro recipientes que incluye una igualación de presión de dos fases. La figura 2 ilustra un diagrama de válvulas de un sistema PSA 1A mejorado que puede utilizarse para llevar a cabo el ciclo PSA de cuatro recipientes ilustrado en la figura 1.

La figura 2 ilustra un sistema PSA 1A que incluye un primer recipiente 10, un segundo recipiente 20, un tercer recipiente 30 y un cuarto recipiente 40. Cada uno de los recipientes incluye normalmente un lecho de material de adsorción. Los recipientes 10, 20, 30 y 40 están conectados en una relación de flujo en paralelo entre un colector fuente 100, que suministra una mezcla de gases de alimentación, y un colector de producto 102, que proporciona una salida para gas efluente de producto no absorbido. Los recipientes 10, 20, 30 y 40 también están conectados a un colector de residuos 104, que proporciona una salida para componentes adsorbidos.

60 Cada uno de los recipientes 10, 20, 30 y 40 tiene una abertura inferior 12, 22, 32 y 42, respectivamente, en un extremo inferior de los mismos. Las aberturas inferiores 12, 22, 32 y 42 están conectadas al colector fuente 100 a través de conductos 11, 21, 31 y 41, respectivamente. Los conductos 11, 21, 31 y 41 tienen válvulas 10A, 20A, 30A y 40A, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el colector fuente 100 y los recipientes respectivos 10, 20, 30 y 40. Las aberturas inferiores 12, 22, 32 y 42 están conectadas al colector de residuos 104 a través de conductos 13, 23, 33 y 43, respectivamente. Los conductos 13, 23, 33 y 43 tienen válvulas 10E, 20E, 30E y 40E, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el colector de residuos 104 y los recipientes respectivos 10, 20, 30 y 40.

65

Además, cada uno de los recipientes 10, 20, 30 y 40 tiene una abertura superior 14, 24, 34 y 44, respectivamente, en un extremo superior de los mismos. Las aberturas superiores 14, 24, 34 y 44 están conectadas al colector de producto 102 a través de los conductos 15, 25, 35 y 45, respectivamente. Los conductos 15, 25, 35 y 45 tienen válvulas 10B, 20B, 30B y 40B, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el colector de producto 102 y los recipientes respectivos 10, 20, 30 y 40.

Las aberturas superiores 14, 24, 34 y 44 pueden conectarse al conducto de igualación 106 mediante uno o más conductos, donde cada conducto presenta una válvula en el mismo. Preferentemente, la abertura superior 14 del recipiente 10 está conectada al conducto de igualación 106 a través de un primer conducto 16 y un segundo conducto 18. Los conductos 16 y 18 tienen válvulas 10C y 10D, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el conducto de igualación 106 y el recipiente 10. Las válvulas 10C y 10D están configuradas para proporcionar un caudal predeterminado durante un estado abierto y, preferentemente, las válvulas 10C y 10D están configuradas para proporcionar diferentes caudales predeterminados. Por consiguiente, durante una igualación de presión de dos fases en la que el fluido fluye desde el conducto de igualación 106 (desde uno de los otros recipientes 20, 30 y 40) hacia el interior del recipiente 10, una de las válvulas puede estar configurada para abrirse a un primer caudal predeterminado que es apropiado durante la primera fase para obtener la igualación deseada, y la otra válvula (donde la otra válvula está cerrada o ambas válvulas están abiertas) puede estar configurada para abrirse a un segundo caudal predeterminado que es apropiado durante la segunda fase para obtener la igualación deseada sin las nocivas sacudidas de fluido en los recipientes y en el sistema que pueden producirse si se originan grandes diferencias de presión y grandes cambios de caudal en el sistema. Como alternativa, el sistema PSA puede incluir un único conducto y una válvula que conectan cada recipiente con el conducto de igualación 106, o pueden usarse tres o más conductos y válvulas para conectar cada recipiente con el conducto de igualación 106 dependiendo de las características de flujo deseadas en el sistema PSA. Las válvulas del sistema PSA 1A pueden controlarse manualmente, controlarse automáticamente mediante un sistema de control, accionarse automáticamente en función de condiciones de funcionamiento, tales como un nivel de presión predeterminado, o mediante alguna combinación de los mismos. Si se desea, las válvulas pueden ser válvulas de caudal variable.

Preferentemente, las aberturas superiores 24, 34 y 44 de los recipientes 20, 30 y 40 están conectadas al conducto de igualación 106 de una manera similar a la descrita anteriormente para la abertura superior 14 del recipiente 10. Más específicamente, la abertura superior 24 del recipiente 20 está conectada al conducto de igualación 106 a través de un primer conducto 26 y de un segundo conducto 28, y los conductos 26 y 28 tienen válvulas 20C y 20D, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el conducto de igualación 106 y el recipiente 20. Además, la abertura superior 34 del recipiente 30 está conectada al conducto de igualación 106 a través de un primer conducto 36 y de un segundo conducto 38, y los conductos 36 y 38 tienen válvulas 30C y 30D, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el conducto de igualación 106 y el recipiente 30. Además, la abertura superior 44 del recipiente 40 está conectada al conducto de igualación 106 a través de un primer conducto 46 y de un segundo conducto 48, y los conductos 46 y 48 tienen válvulas 40C y 40D, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el conducto de igualación 106 y el recipiente 40.

Preferentemente, las válvulas 10C, 10D, 20C, 20D, 30C, 30D, 40C y 40D no interrumpen el flujo a lo largo del conducto de igualación 106.

La figura 1 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de cuatro recipientes que incluye una igualación de presión de dos fases que puede llevarse a cabo por el sistema PSA 1A ilustrado en la figura 2. El ciclo PSA ilustrado en la figura 1 se ha dividido en veinticuatro unidades de tiempo para simplificar la descripción. Cada uno de los cuatro recipientes de adsorción 10, 20, 30 y 40 siguen la misma secuencia de etapas, pero la secuencia de etapas de cada recipiente está desfasa con respecto a los otros recipientes. A continuación se describe el ciclo del recipiente de adsorción 10.

Durante la unidad de tiempo 1, el recipiente de adsorción 10 lleva a cabo un proceso de adsorción (A) con las válvulas 10A y 10B en un estado abierto y con las válvulas 10C, 10D, 10E, 20A, 30A, 40A, 20B, 30B y 40B en un estado cerrado. Durante la unidad de tiempo 1, el fluido de mezcla de gases de alimentación se suministra desde el colector fuente 100 a través del conducto 11 hasta la abertura 12 del recipiente 10, el fluido atraviesa el lecho de adsorción del recipiente 10 y el fluido de producto no adsorbido sale por la abertura 14 y recorre el conducto 15 hasta el colector de producto 102.

Durante las unidades de tiempo 2 a 6, las válvulas 10A y 10B permanecen en el estado abierto, de manera que el recipiente de adsorción 10 sigue realizando el proceso de adsorción (A) y la válvula 40B pasa a un estado abierto para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 40. Durante la represurización de producto final, el fluido fluye desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 45 y hacia el interior del recipiente 40 a través de la abertura 44.

Durante la unidad de tiempo 7, las válvulas 10A y 10B se cierran y las válvulas 10C y 20C pasan a un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 20. (Para simplificar la descripción, en este documento se describe que las válvulas 10C y 20C se utilizan durante la etapa de igualación de presión, pero debe

ES 2 386 424 T3

- observarse que también pueden usarse como alternativa las válvulas 10D y 20D, las válvulas 10C y 20D o las válvulas 10D y 20C). Durante la unidad de tiempo 7, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 20 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión del recipiente 20.
- 5 Durante la unidad de tiempo 7, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 16 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 26 hacia el interior del recipiente 20 a través de la abertura 24.
- Durante las unidades de tiempo 8 a 11, la válvula 20C pasa a un estado cerrado y la válvula 30C (o la válvula 30D) pasa a un estado abierto. Durante las unidades de tiempo 8 a 11, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 30, que purga (P) los residuos abriendo la válvula 30E descargándose de ese modo los residuos del recipiente 30 al colector de residuos 104 a través del conducto 33. Durante las unidades de tiempo 8 a 11, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 16 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 36 hacia el interior del recipiente 30 a través de la abertura 34. El recipiente 30 se purga haciendo que el fluido salga a través de la abertura 32 y que recorra el conducto 33 hasta el colector de residuos 104.
- 10
- 15
- Durante la unidad de tiempo 12, el recipiente 10 sigue suministrando fluido al recipiente 30; sin embargo, la válvula 30E pasa a un estado cerrado para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 30. Durante la unidad de tiempo 12, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 30 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 30. Debe observarse que durante la unidad de tiempo 12, la segunda etapa de igualación de presión puede llevarse a cabo utilizando las válvulas 10D y 30D, que pueden proporcionar un caudal diferente que las válvulas 10C y 30C. Por consiguiente, durante la unidad de tiempo 12, las válvulas 10C y 30C están cerradas y las válvulas 10D y 30D pasan a estados abiertos. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 12, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 38 hacia el interior del recipiente 30 a través de la abertura 34.
- 20
- 25
- 30 Durante la unidad de tiempo 13, la válvula 10D está cerrada y la válvula 10E pasa a un estado abierto. Durante la unidad de tiempo 13, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de soplado a contracorriente (BD) en la que el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 12 y recorre el conducto 13 hasta el colector de residuos 104.
- Durante las unidades de tiempo 14 a 17, la válvula 10E permanece en el estado abierto y las válvulas 10D y 40D (o 10C y 40C, dependiendo del caudal deseado) pasan al estado abierto, mientras que las válvulas 20C, 20D, 30C y 30D están cerradas. Durante las unidades de tiempo 14 a 17, el recipiente 40 lleva a cabo una despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 10, que purga (P) los residuos a través de la válvula abierta 10E, descargándose de ese modo los residuos del recipiente 10 al colector de residuos 104 a través del conducto 13. Durante las unidades de tiempo 14 a 17, el fluido del recipiente 40 sale por la abertura 44 y recorre el conducto 48 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. El recipiente 10 se purga haciendo que el fluido salga a través de la abertura 12 y que recorra el conducto 13 hasta el colector de residuos 104.
- 35
- 40
- Durante la unidad de tiempo 18, el recipiente 40 sigue suministrando fluido al recipiente 10; sin embargo, la válvula 10E pasa a un estado cerrado para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 40. Durante la unidad de tiempo 18, el recipiente 40 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 40 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 18, la segunda etapa de igualación de presión se lleva a cabo utilizando las válvulas 10D y 40D. Por consiguiente, durante la unidad de tiempo 18, las válvulas 10D y 40D están en estados abiertos. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 18, el fluido del recipiente 40 sale por la abertura 44 y recorre el conducto 48 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.
- 45
- 50
- Durante la unidad de tiempo 19, las válvulas 10D y 40D están cerradas y las válvulas 10C y 20C pasan a un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 20. Durante la unidad de tiempo 19, el recipiente 20 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 20 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 19, el fluido del recipiente 20 sale por la abertura 24 y recorre el conducto 26 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 16 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.
- 55
- 60
- Durante las unidades de tiempo 20 a 24, las válvulas 10C y 20C están cerradas y la válvula 10B pasa a un estado abierto para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 10. Durante la etapa de represurización de producto final (FP), el fluido fluye desde el recipiente 30, el cual está llevado a cabo actualmente la etapa de adsorción, hasta el colector de producto 102 a través del conducto 35, y después desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 15 y hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.
- 65

Los recipientes de adsorción restantes 20, 30 y 40 siguen la misma secuencia de etapas, aunque cada secuencia de etapas está desfasada con respecto a los otros recipientes. Los procesos para cada uno de los recipientes de adsorción restantes 20, 30 y 40 son similares al descrito anteriormente con relación al recipiente 10; sin embargo, las
5 diversas etapas que requieren interacción entre los recipientes se llevarán a cabo utilizando recipientes diferentes según se especifica en el diagrama de ciclos PSA claramente expuesto en la figura 1.

La figura 3 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de cinco recipientes que incluye una igualación de presión de dos fases. La figura 4 ilustra un diagrama de válvulas de un
10 sistema PSA 1B mejorado que puede utilizarse para llevar a cabo el ciclo PSA de cinco recipientes ilustrado en la figura 3.

La figura 4 ilustra un sistema PSA 1B que incluye un primer recipiente 10, un segundo recipiente 20, un tercer
15 recipiente 30 y un cuarto recipiente 40, con válvulas y conductos correspondientes como los descritos anteriormente en el sistema PSA 1A de cuatro recipientes, que, por motivos de simplicidad, no se describirán de nuevo en detalle. El sistema PSA 1B incluye además un quinto recipiente 50 que incluye un lecho de material de adsorción en el mismo. Los recipientes 10, 20, 30, 40 y 50 están conectados en una relación de flujo en paralelo entre un colector fuente 100, que suministra una mezcla de gases de alimentación, y un colector de producto 102, que proporciona una salida para gas efluente de producto no absorbido. Los recipientes 10, 20, 30, 40 y 50 también están
20 conectados a un colector de residuos 104, que proporciona una salida para componentes adsorbidos.

El recipiente 50 tiene una abertura inferior 52 en un extremo inferior del mismo que está conectada al colector fuente 100 a través del conducto 51. El conducto 51 tiene una válvula 50A, que controla el flujo de fluido entre el colector fuente 100 y el recipiente 50. La abertura inferior 52 está conectada al colector de residuos 104 a través del
25 conducto 53. El conducto 53 tiene una válvula 50E, que controla el flujo de fluido entre el colector de residuos 104 y el recipiente 50. Además, el recipiente 50 tiene una abertura superior 54 en un extremo superior del mismo, que está conectada al colector de producto 102 a través del conducto 55. El conducto 55 tiene una válvula 50B que controla el flujo de fluido entre el colector de producto 102 y el recipiente 50.

La abertura superior 54 puede estar conectada al conducto de igualación 106 mediante uno o más conductos, donde cada conducto presenta una válvula en el mismo. Preferentemente, la abertura superior 54 del recipiente 50 está conectada al conducto de igualación 106 a través de un primer conducto 56 y de un segundo conducto 58. Los conductos 56 y 58 tienen válvulas 50C y 50D, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el conducto de
30 igualación 106 y el recipiente 50. Las válvulas 50C y 50D están configuradas para funcionar de la misma manera que las válvulas 10C y 10D descritas con respecto al sistema PSA 1A de cuatro recipientes. Como alternativa, el sistema PSA puede incluir un único conducto y una válvula que conectan cada recipiente con el conducto de igualación 106, o pueden utilizarse tres o más conductos y válvulas para conectar cada recipiente con el conducto de igualación 106, dependiendo de las características de flujo deseadas en el sistema PSA.
35

La figura 3 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de cinco recipientes que incluye una igualación de presión de dos fases que puede llevarse a cabo por el sistema PSA 1B
40 ilustrado en la figura 4. El ciclo PSA ilustrado en la figura 3 se ha dividido en veinte unidades de tiempo para simplificar la descripción. Cada uno de los cinco recipientes de adsorción 10, 20, 30, 40 y 50 siguen la misma secuencia de etapas, pero la secuencia de etapas de cada recipiente está desfasada con respecto a los otros recipientes.
45

El ciclo PSA ilustrado en la figura 3 tiene varias diferencias importantes con el ciclo PSA ilustrado en la figura 1. Por ejemplo, el ciclo PSA ilustrado en la figura 3 lleva a cabo de manera ventajosa tanto la etapa de igualación de presión de primera fase (E1D), en la que disminuye la presión del recipiente, como la etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D), en la que disminuye la presión del recipiente, antes de la etapa de despresurización en el sentido de la corriente (PP). En el ciclo PSA ilustrado en la figura 1, la etapa de despresurización en el sentido de la corriente (PP) se llevó a cabo después de la etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) y antes de la etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D). Además, el ciclo PSA ilustrado en la figura 3 incluye varias etapas de retención (H) en las que los recipientes están cerrados de manera que el fluido ni entra ni sale del
50 recipiente. Los estados de retención incorporados en el ciclo PSA permiten que el sistema PSA 1B se construya solamente con un conducto de igualación.
55

Debe observarse que si uno cualquiera de los recipientes o de las válvulas asociadas con los mismos falla en el sistema PSA 1B ilustrado en la figura 4, el sistema PSA 1B puede hacerse funcionar como si fuera un sistema de cuatro recipientes que utiliza el ciclo PSA ilustrado en la figura 1 aislando el recipiente inactivo. De hecho, el sistema PSA puede permanecer activo en un modo PSA de cuatro recipientes hasta que se solucione el problema, pero con un menor rendimiento. Esto permite de manera ventajosa una planificación óptima de las tareas de mantenimiento y una minimización del tiempo de inactividad del sistema.
60

A continuación se describe el ciclo del recipiente de adsorción 10 en el ciclo PSA ilustrado en la figura 3.
65

ES 2 386 424 T3

5 Durante la unidad de tiempo 1, las válvulas 10A, 10B, 10D y 10E están en el estado cerrado y las válvulas 10C y 30C están en un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 30. Durante la unidad de tiempo 1, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 30 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión del recipiente 30. Durante la unidad de tiempo 1, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 16 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 36 hacia el interior del recipiente 30 a través de la abertura 34.

10 Durante la unidad de tiempo 2, las válvulas 10C y 30C están en un estado cerrado y las válvulas 10D y 40D están en un estado abierto de manera que el recipiente 10 suministra fluido al recipiente 40 para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 40. Durante la unidad de tiempo 2, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 40 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 40. Debe observarse que durante la unidad de tiempo 2, la segunda etapa de igualación de presión se lleva a cabo utilizando las válvulas 10D y 40D, que pueden proporcionar un caudal diferente que las válvulas 10C y 40C. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 2, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 48 hacia el interior del recipiente 40 a través de la abertura 44.

20 Durante las unidades de tiempo 3 y 4, las válvulas 10D y 50D (o la válvula 50C) están en un estado abierto. Durante las unidades de tiempo 3 y 4, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 50, que purga (P) los residuos abriendo la válvula 50E, descargándose de ese modo los residuos desde el recipiente 50 hasta el colector de residuos 104 a través del conducto 53. Durante las unidades de tiempo 3 y 4, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 16 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 56 hacia el interior del recipiente 50 a través de la abertura 54. El recipiente 50 se purga haciendo que el fluido salga a través de la abertura 52 y que recorra el conducto 53 hasta el colector de residuos 104.

30 Durante la unidad de tiempo 5, la válvula 10D está en un estado cerrado y la válvula 10E está en un estado abierto. Durante la unidad de tiempo 5, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de soplado a contracorriente (BD) en la que el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 12 y recorre el conducto 13 hasta el colector de residuos 104.

35 Durante la unidad de tiempo 6, el recipiente 10 está en un estado de retención, en el que todas las válvulas 10A, 10B, 10C, 10D y 10E están en un estado cerrado y ningún fluido entra o sale del recipiente 10 a través de las aberturas 12 y 14.

40 Durante las unidades de tiempo 7 y 8, la válvula 10E está en el estado abierto y las válvulas 10D y 20D (o 10C y 20C, dependiendo del caudal deseado) están en el estado abierto. Durante las unidades de tiempo 7 y 8, el recipiente 20 lleva a cabo una despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 10, que purga (P) los residuos a través de la válvula abierta 10E, descargándose de ese modo los residuos del recipiente 10 al colector de residuos 104 a través del conducto 13. Durante las unidades de tiempo 7 y 8, el fluido del recipiente 20 sale por la abertura 24 y recorre el conducto 28 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. El recipiente 10 se purga haciendo que el fluido salga por la abertura 12 y que recorra el conducto 13 hasta el colector de residuos 104.

45 Durante la unidad de tiempo 9, el recipiente 10 está en un estado de retención en el que todas las válvulas 10A, 10B, 10C, 10D y 10E están en un estado cerrado y ningún fluido entra o sale del recipiente 10 a través de las aberturas 12 y 14.

50 Durante la unidad de tiempo 10, las válvulas 10D y 30D están en un estado abierto con el fin de permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 30. Durante la unidad de tiempo 10, el recipiente 30 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 30 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 10, la segunda etapa de igualación de presión se lleva a cabo usando las válvulas 10D y 30D. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 10, el fluido del recipiente 30 sale por la abertura 34 y recorre el conducto 38 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.

60 Durante las unidades de tiempo 11 y 12, el recipiente 10 está en un estado de retención en el que todas las válvulas 10A, 10B, 10C, 10D y 10E están en un estado cerrado y ningún fluido entra o sale del recipiente 10 a través de las aberturas 12 y 14.

65 Durante la unidad de tiempo 13, las válvulas 10C y 40C están en un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 40. Durante la unidad de tiempo 13, el recipiente 40 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 40 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión

del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 13, el fluido del recipiente 40 sale por la abertura 44 y recorre el conducto 46 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 16 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.

5 Durante las unidades de tiempo 14 a 16, la válvula 10C está en un estado cerrado, y la válvula 10B está en un estado abierto para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 10. Durante la etapa de represurización de producto final (FP), el fluido fluye desde el recipiente 50, el cual está realizando actualmente la etapa de adsorción, hasta el colector de producto 102 a través del conducto, y después desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 15 y hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.

10 Durante la unidad de tiempo 17, el recipiente de adsorción 10 lleva a cabo un proceso de adsorción (A) con las válvulas 10A y 10B en un estado abierto y con las válvulas 10C, 10D, 10E, 20A, 30A, 40A, 50A, 20B, 30B, 40B y 50B en un estado cerrado. Durante la unidad de tiempo 17 se suministra fluido de mezcla de gases de alimentación desde el colector fuente 100 a través del conducto 11 hasta la abertura 12 del recipiente 10, el fluido atraviesa el lecho de adsorción del recipiente 10 y el fluido de producto no adsorbido sale por la abertura 14 y recorre el conducto 15 hasta el colector de producto 102.

15 Durante las unidades de tiempo 18 a 20, las válvulas 10A y 10B permanecen en el estado abierto, de manera que el recipiente de adsorción 10 sigue llevando a cabo el proceso de adsorción (A), y la válvula 20B pasa a un estado abierto para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 20. Durante la represurización de producto final, el fluido fluye desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 25 hacia el interior del recipiente 20 a través de la abertura 24.

20 Los recipientes de adsorción restantes 20, 30, 40 y 50 siguen la misma secuencia de etapas, pero cada secuencia de etapas está desfasada con respecto a los otros recipientes. Los procesos para cada uno de los recipientes de adsorción restantes 20, 30, 40 y 50 son similares a los descritos anteriormente con respecto al recipiente 10; sin embargo, las diversas etapas que requieren interacción entre los recipientes se llevarán a cabo utilizando recipientes diferentes según se especifica en el diagrama de ciclos PSA expuesto claramente en la figura 3.

25 La figura 5 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de seis recipientes que incluye una igualación de presión de tres fases. La figura 6 ilustra un diagrama de válvulas de un sistema PSA 1C mejorado que puede usarse para ejecutar el ciclo PSA de seis recipientes ilustrado en la figura 5.

30 La figura 6 ilustra un sistema PSA 1C que incluye un primer recipiente 10, un segundo recipiente 20, un tercer recipiente 30, un cuarto recipiente 40 y un quinto recipiente 50, con válvulas y conductos correspondientes similares a los descritos anteriormente, que, por motivos de simplicidad, no se describirán en detalle de nuevo. El sistema PSA 1C incluye además un sexto recipiente 60 que incluye un lecho de material de adsorción en el mismo. Los recipientes 10, 20, 30, 40, 50 y 60 están conectados en una relación de flujo en paralelo entre un colector fuente 100, que suministra una mezcla de gases de alimentación, y un colector de producto 102, que proporciona una salida para el gas efluente de producto no absorbido. Los recipientes 10, 20, 30, 40, 50 y 60 también están conectados a un colector de residuos 104, que proporciona una salida para los componentes adsorbidos.

35 El recipiente 60 tiene una abertura inferior 62 en un extremo inferior del mismo que está conectada al colector fuente 100 a través del conducto 61. El conducto 61 tiene una válvula 60A, que controla el flujo de fluido entre el colector fuente 100 y el recipiente 60. La abertura inferior 62 está conectada al colector de residuos 104 a través del conducto 63. El conducto 63 tiene una válvula 60E que controla el flujo de fluido entre el colector de residuos 104 y el recipiente 60. Además, el recipiente 60 tiene una abertura superior 64 en un extremo superior del mismo que está conectada al colector de producto 102 a través del conducto 65. El conducto 65 tiene una válvula 60B que controla el flujo de fluido entre el colector de producto 102 y el recipiente 60.

40 La abertura superior 64 puede estar conectada al conducto de igualación 106 mediante uno o más conductos, donde cada conducto presenta una válvula en el mismo. Preferentemente, en el sistema PSA 1C de seis recipientes ilustrado en la figura 6, cada abertura superior 14, 24, 34, 44, 54 y 64 está conectada al conducto de igualación 106 a través de un conducto 18, 28, 38, 48, 58 y 68, respectivamente. Los conductos 18, 28, 38, 48, 58 y 68 presentan válvulas 10D, 20D, 30D, 40D, 50D y 60D, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el conducto de igualación 106 y los recipientes 10, 20, 30, 40, 50 y 60, respectivamente. Las válvulas 10D, 20D, 30D, 40D, 50D y 60D están configuradas para funcionar de la misma manera que las válvulas 10C y 10D descritas con respecto al sistema PSA 1A de cuatro recipientes. Como alternativa, el sistema PSA de la presente invención puede incluir varios conductos y válvulas que pueden utilizarse para conectar cada recipiente con el conducto de igualación 106, dependiendo de las características de flujo deseadas en el sistema PSA.

45 La figura 5 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de seis recipientes que incluye una igualación de presión de tres fases que puede llevarse a cabo por el sistema PSA 1C ilustrado en la figura 6. El ciclo PSA ilustrado en la figura 5 se ha dividido en veinticuatro unidades de tiempo para simplificar la descripción. Cada uno de los seis recipientes de adsorción 10, 20, 30, 40, 50 y 60 siguen la misma secuencia de etapas, pero la secuencia de etapas de cada recipiente está desfasada con respecto a los otros recipientes.

- El ciclo PSA ilustrado en la figura 5 tiene varias diferencias importantes con el ciclo PSA ilustrado en la figura 3. Más específicamente, el ciclo PSA ilustrado en la figura 5 utiliza de manera ventajosa una igualación de presión de tres fases con el fin de minimizar las sacudidas del fluido en el sistema en general, y en los lechos de adsorción en particular, aumentando de ese modo la vida útil de los materiales adsorbentes. Según el ciclo PSA de la figura 5, no es necesario incluir una segunda válvula que conecte cada recipiente con el conducto de igualación 106, lo que reduce además la complejidad del sistema PSA 1C. Los estados de retención incorporados en el ciclo PSA permiten que el sistema PSA 1C se construya solamente con un conducto de igualación.
- Debe observarse que si uno o más de los recipientes o de las válvulas asociadas con los mismos falla en el sistema PSA 1C ilustrado en la figura 6, entonces el sistema PSA 1C puede hacerse funcionar como si fuera un sistema de cuatro recipientes que utiliza el ciclo PSA ilustrado en la figura 1 o como un sistema de cinco recipientes que utiliza el ciclo PSA ilustrado en la figura 3 aislando el (los) recipiente(s) inactivo(s). De hecho, el sistema PSA puede permanecer activo en un modo PSA de cuatro recipientes o en un modo PSA de cinco recipientes hasta que se solucione el problema. Sin embargo, debe observarse que para llevar a cabo de la manera más eficiente los ciclos PSA de las figuras 1 y 3, el sistema PSA 1C debe estar dotado de válvulas adicionales 10C, 20C, 30C, 40C, 50C y 60C, que conectan los recipientes 10, 20, 30, 40, 50 y 60, respectivamente, al conducto de igualación 106. Como alternativa, los ciclos PSA de las figuras 1 y 3 pueden llevarse a cabo con el sistema PSA 1C llevando a cabo simplemente todas las etapas de igualación a través de las válvulas existentes 10D, 20D, 30D, 40D, 50D y 60D.
- A continuación se describe el ciclo del recipiente de adsorción 10 en el ciclo PSA ilustrado en la figura 5.
- Durante las unidades de tiempo 1 a 3, el recipiente de adsorción 10 lleva a cabo un proceso de adsorción (A) con las válvulas 10A y 10B en un estado abierto y con las válvulas 10D, 10E, 20A, 30A, 40A, 50A, 60A, 20B, 30B, 40B, 50B y 60B en un estado cerrado. Durante las unidades de tiempo 1 a 3, el fluido de mezcla de gases de alimentación se suministra desde el colector fuente 100 hasta la abertura 12 del recipiente 10 a través del conducto 11, el fluido atraviesa el lecho de adsorción del recipiente 10 y el fluido de producto no adsorbido sale por la abertura 14 y recorre el conducto 15 hasta el colector de producto 102.
- Durante la unidad de tiempo 4, las válvulas 10A y 10B permanecen en el estado abierto, de manera que el recipiente de adsorción 10 sigue llevando a cabo el proceso de adsorción (A), y la válvula 20B pasa a un estado abierto para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 20. Durante la represurización de producto final, el fluido fluye desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 25 y atraviesa la abertura 24 hacia el interior del recipiente 20.
- Durante las unidades de tiempo 5 y 6, el recipiente de adsorción 10 sigue llevando a cabo un proceso de adsorción (A) con las válvulas 10A y 10B en un estado abierto y la válvula 20B pasa a un estado cerrado. Durante las unidades de tiempo 5 y 6, el fluido de mezcla de gases de alimentación se suministra desde el colector fuente hasta la abertura 12 del recipiente 10 a través del conducto 11, el fluido atraviesa el lecho de adsorción del recipiente 10 y el fluido de producto no adsorbido sale por la abertura 14 y recorre el conducto 15 hasta el colector de producto 102.
- Durante la unidad de tiempo 7, las válvulas 10A, 10B y 10E están en un estado cerrado y las válvulas 10D y 30D están en un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 30. Durante la unidad de tiempo 7, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 30 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión del recipiente 30. Durante la unidad de tiempo 7, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 38 hacia el interior del recipiente 30 a través de la abertura 34.
- Durante la unidad de tiempo 8, la válvula 30D está en un estado cerrado y las válvulas 10D y 40D están en un estado abierto de manera que el recipiente 10 suministra fluido al recipiente 40 para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 40. Durante la unidad de tiempo 8, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 40 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 40. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 8, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 48 hacia el interior del recipiente 40 a través de la abertura 44.
- Durante la unidad de tiempo 9, la válvula 40D está en un estado cerrado y las válvulas 10D y 50D están en un estado abierto de manera que el recipiente 10 suministra fluido al recipiente 50 para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 50. Durante la unidad de tiempo 9, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 50 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3P) en la que aumenta la presión del recipiente 50. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 9, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 58 hacia el interior del recipiente 50 a través de la abertura 54.

ES 2 386 424 T3

- 5 Durante la unidad 10, la válvula 50D está en un estado cerrado y las válvulas 10D y 60D están en un estado abierto. Durante la unidad de tiempo 10, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 60, que purga (P) los residuos abriendo la válvula 60E, descargándose de ese modo los residuos del recipiente 60 al colector de residuos 104 a través del conducto 63.
- 10 Durante la unidad de tiempo 10, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 68 hacia el interior del recipiente 60 a través de la abertura 64. El recipiente 60 se purga haciendo que el fluido salga a través de la abertura 62 y que recorra el conducto 63 hasta el colector de residuos 104.
- 15 Durante la unidad de tiempo 11, la válvula 10D está en un estado cerrado y la válvula 10E está en un estado abierto. Durante la unidad de tiempo 11, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de soplado a contracorriente (BD) en la que el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 12 y recorre el conducto 13 hasta el colector de residuos 104.
- 20 Durante las unidades de tiempo 12 y 13, el recipiente 10 está en un estado de retención, en el que todas las válvulas 10A, 10B, 10D y 10E están en un estado cerrado y ningún fluido entra o sale del recipiente 10 a través de las aberturas 12 y 14.
- 25 Durante la unidad de tiempo 14, la válvula 10E está en el estado abierto y las válvulas 10D y 20D están en el estado abierto. Durante la unidad de tiempo 14, el recipiente 20 lleva a cabo una despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 10, que purga (P) los residuos a través de la válvula abierta 10E, descargándose de ese modo los residuos del recipiente 10 al colector de residuos 104 a través del conducto 13. Durante la unidad de tiempo 14, el fluido del recipiente 20 sale por la abertura 24 y recorre el conducto 28 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. El recipiente 10 se purga haciendo que el fluido salga por la abertura 12 y que recorra el conducto 13 hasta el colector de residuos 104.
- 30 Durante las unidades de tiempo 15 y 16, el recipiente 10 está en un estado de retención, en el que todas las válvulas 10A, 10B, 10D y 10E están en un estado cerrado y ningún fluido entra o sale del recipiente 10 a través de las aberturas 12 y 14.
- 35 Durante la unidad de tiempo 17, las válvulas 10D y 30D están en un estado abierto con el fin de permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 30. Durante la unidad de tiempo 17, el recipiente 30 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3D) en la que disminuye la presión del recipiente 30 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 17, la tercera etapa de igualación de presión se lleva a cabo usando las válvulas 10D y 30D. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 17, el fluido del recipiente 30 sale por la abertura 34 y recorre el conducto 38 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.
- 40 Durante las unidades de tiempo 18 y 19, el recipiente 10 está en un estado de retención, en el que todas las válvulas 10A, 10B, 10D y 10E están en un estado cerrado y ningún fluido entra o sale del recipiente 10 a través de las aberturas 12 y 14.
- 45 Durante la unidad de tiempo 20, las válvulas 10C y 40C están en un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 40. Durante la unidad de tiempo 20, el recipiente 40 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 40 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 20, la segunda etapa de igualación de presión se lleva a cabo usando las válvulas 10D y 40D. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 20, el fluido del recipiente 40 sale por la abertura 44 y recorre el conducto 48 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.
- 50 Durante las unidades de tiempo 21 y 22, el recipiente 10 está en un estado de retención, en el que todas las válvulas 10A, 10B, 10D y 10E están en un estado cerrado y ningún fluido entra o sale del recipiente 10 a través de las aberturas 12 y 14.
- 55 Durante la unidad de tiempo 23, las válvulas 10D y 50D están en un estado abierto con el fin de permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 50. Durante la unidad de tiempo 23, el recipiente 50 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 50 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 23, el fluido del recipiente 50 sale por la abertura 54 y recorre el conducto 58 hasta el conducto de igualación 106, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.
- 60 Durante la unidad de tiempo 24, la válvula 10D está en un estado cerrado y la válvula 10B está en un estado abierto
- 65

para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 10. Durante la etapa de represurización de producto final (FP), el fluido fluye desde el recipiente 60, el cual está llevado a cabo actualmente la etapa de adsorción, hasta el colector de producto 102 a través del conducto, y después desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 15 y hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.

5 Los restantes recipientes de adsorción 20, 30, 40, 50 y 60 siguen la misma secuencia de etapas, aunque cada secuencia de etapas está desfasada con respecto a los otros recipientes. Los procesos para cada uno de los restantes recipientes de adsorción 20, 30, 40, 50 y 60 son similares a los descritos anteriormente con respecto al recipiente 10; sin embargo, las diversas etapas que requieren interacción entre los recipientes se realizarán
10 utilizando recipientes diferentes según se especifica en el diagrama de ciclos PSA claramente expuesto en la figura 5.

La figura 7 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de siete recipientes que incluye una igualación de presión de tres fases. La figura 8 ilustra un diagrama de válvulas de un sistema PSA 1D mejorado que puede usarse para ejecutar el ciclo PSA de siete recipientes ilustrado en la figura 7.
15

La figura 8 ilustra un sistema PSA 1D que incluye un primer recipiente 10, un segundo recipiente 20, un tercer recipiente 30, un cuarto recipiente 40, un quinto recipiente 50 y un sexto recipiente 60, como los descritos anteriormente, que, por motivos de simplicidad, no se describirán en detalle de nuevo. El sistema PSA 1D incluye además un séptimo recipiente 70 que incluye un lecho de material de adsorción en el mismo. Los recipientes 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 están conectados en una relación de flujo en paralelo entre un colector fuente 100, que suministra una mezcla de gases de alimentación, y un colector de producto 102, que proporciona una salida para el gas efluente de producto no absorbido. Los recipientes 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 también están conectados a un colector de residuos 104, que proporciona una salida para los componentes adsorbidos.
20

El recipiente 70 tiene una abertura inferior 72 en un extremo inferior del mismo que está conectada al colector fuente 100 a través del conducto 71. El conducto 71 tiene una válvula 70A que controla el flujo de fluido entre el colector fuente 100 y el recipiente 70. La abertura inferior 72 está conectada al colector de residuos 104 a través del conducto 73. El conducto 73 tiene una válvula 70E que controla el flujo de fluido entre el colector de residuos 104 y el recipiente 70. Además, el recipiente 70 tiene una abertura superior 74 en un extremo superior del mismo que está conectada al colector de producto 102 a través del conducto 75. El conducto 75 tiene una válvula 70B que controla el flujo de fluido entre el colector de producto 102 y el recipiente 70.
25
30

La realización preferida del sistema PSA 1D de siete recipientes incluye un primer conducto de igualación 108 y un segundo conducto de igualación 110. Las aberturas superiores 14, 24, 34, 44, 54, 64 y 74 pueden estar conectadas a cada uno de los conductos de igualación 108 y 110 a través de uno o más conductos, donde cada conducto presenta una válvula en el mismo. Preferentemente, las aberturas superiores 14, 24, 34, 44, 54, 64 y 74 están conectadas al primer conducto de igualación 108 a través de primeros conductos 16, 26, 36, 46, 56, 66 y 76, respectivamente. Los primeros conductos 16, 26, 36, 46, 56, 66 y 76 tienen válvulas 10C, 20C, 30C, 40C, 50C, 60C y 70C, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el primer conducto de igualación 108 y los recipientes 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70, respectivamente. Preferentemente, las aberturas superiores 14, 24, 34, 44, 54, 64 y 74 están conectadas al segundo conducto de igualación 110 a través de segundos conductos 18, 28, 38, 48, 58, 68 y 78, respectivamente. Los segundos conductos 18, 28, 38, 48, 58, 68 y 78 tienen válvulas 10D, 20D, 30D, 40D, 50D, 60D y 70D, respectivamente, que controlan el flujo de fluido entre el segundo conducto de igualación 110 y los recipientes 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70, respectivamente. Las válvulas 70C y 70D están configuradas para funcionar de la misma manera que las válvulas 10C y 10D descritas con respecto al sistema PSA 1A de cuatro recipientes. Como alternativa, el sistema PSA de la presente invención puede incluir varios conductos y válvulas que conectan cada recipiente con cada conducto de igualación 108 y 110 dependiendo de las características de flujo deseadas en el sistema PSA.
35
40
45

La figura 7 ilustra un diagrama de ciclos para un ciclo de adsorción por cambios de presión (PSA) de siete recipientes que incluye una igualación de presión de tres fases que puede llevarse a cabo por el sistema PSA 1D ilustrado en la figura 8. El ciclo PSA ilustrado en la figura 7 se ha dividido en veintiuna unidades de tiempo para simplificar la descripción. Cada uno de los siete recipientes de adsorción 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 siguen la misma secuencia de etapas, pero la secuencia de etapas de cada recipiente está desfasada con respecto a los otros recipientes.
50
55

El ciclo PSA ilustrado en la figura 7 utiliza de manera ventajosa una igualación de presión de tres fases con el fin de minimizar las sacudidas del fluido en el sistema en general, y en los lechos de adsorción en particular, aumentando de ese modo la vida útil de los materiales adsorbentes. Según el ciclo PSA de la figura 7, no es necesario incluir una segunda válvula que conecte cada recipiente con un conducto de igualación, lo que reduce la complejidad del sistema PSA 1D. El sistema PSA 1D incluye dos conductos de igualación distintos 108 y 110, lo que permite que el ciclo PSA de la figura 7 no incluya ningún estado de retención y, generalmente, aumenta el tiempo asignado para la etapa de adsorción en cada recipiente.
60
65

Debe observarse que si uno o más de los recipientes o de las válvulas asociadas con los mismos falla en el sistema

PSA 1D ilustrado en la figura 8, entonces el sistema PSA 1D puede hacerse funcionar como si fuera un sistema de cuatro recipientes que utiliza el ciclo PSA ilustrado en la figura 1, un sistema de cinco recipientes que utiliza el ciclo PSA ilustrado en la figura 3 o un sistema de seis recipientes que utiliza el ciclo PSA ilustrado en la figura 5 aislando el (los) recipiente(s) inactivo(s). De hecho, el sistema PSA puede permanecer activo en un modo PSA de cuatro recipientes, en un modo PSA de cinco recipientes o en un modo PSA de seis recipientes hasta que se solucione el problema.

A continuación se describe el ciclo del recipiente de adsorción 10 en el ciclo PSA ilustrado en la figura 7.

10 Durante la unidad de tiempo 1, el recipiente de adsorción 10 lleva a cabo un proceso de adsorción (A) con las válvulas 10A y 10B en un estado abierto y con las válvulas 10C, 10D, 10E, 20A, 30A, 40A, 50A, 60A, 20B, 30B, 40B, 50B y 60B en un estado cerrado. Durante la unidad de tiempo 1, el fluido de mezcla de gases de alimentación se suministra desde el colector fuente 100 hasta la abertura 12 del recipiente 10 a través del conducto 11, el fluido atraviesa el lecho de adsorción del recipiente 10 y el fluido de producto no adsorbido sale por la abertura 14 y recorre el conducto 15 hasta el colector de producto 102. Debe observarse que el recipiente 70 también está llevando a cabo una etapa de adsorción en este momento y que las válvulas 70A y 70B también están abiertas.

20 Durante las unidades de tiempo 2 y 3, las válvulas 10A, 10B, 70A y 70B permanecen en el estado abierto, de manera que los recipientes de adsorción 10 y 70 siguen llevando a cabo el proceso de adsorción (A), y la válvula 20B pasa a un estado abierto para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 20. Durante la represurización de producto final, el fluido fluye desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 25 y hacia el interior del recipiente 20 a través de la abertura 24.

25 Durante las unidades de tiempo 4 a 6, el recipiente de adsorción 10 sigue llevando a cabo un proceso de adsorción (A) con las válvulas 10A y 10B en un estado abierto y la válvula 20B pasa a un estado cerrado. El recipiente 70 finaliza su etapa de adsorción y las válvulas 70A y 70B se cierran. Durante las unidades de tiempo 5 y 6, el fluido de mezcla de gases de alimentación se suministra desde el colector fuente 100 hasta la abertura 12 del recipiente 10 a través del conducto 11, el fluido atraviesa el lecho de adsorción del recipiente 10 y el fluido de producto no adsorbido sale por la abertura 14 y recorre el conducto 15 hasta el colector de producto 102.

30 Durante la unidad de tiempo 7, las válvulas 10A, 10B, 10D y 10E están en el estado cerrado y las válvulas 10C y 40D están en un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 40. Durante la unidad de tiempo 7, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 40 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión del recipiente 40. Durante la unidad de tiempo 7, el fluido del interior del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 16 hasta el conducto de igualación 108, y después recorre el conducto 46 hacia el interior del recipiente 40 a través de la abertura 44. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 110 usando las válvulas 10D y 40D, si se desea.

40 Durante las unidades de tiempo 8 y 9, la válvula 40C está en un estado cerrado y las válvulas 10C y 50C están en un estado abierto, de manera que el recipiente 10 suministra fluido al recipiente 50 para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 50. Durante las unidades de tiempo 8 y 9, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 50 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 50. Por lo tanto, durante las unidades de tiempo 8 y 9, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 16 hasta el conducto de igualación 108, y después recorre el conducto 56 hacia el interior del recipiente 50 a través de la abertura 54. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 110 usando las válvulas 10D y 50D, si se desea.

50 Durante la unidad de tiempo 10, la válvula 10C está en un estado cerrado y las válvulas 10D y 60D están en un estado abierto de manera que el recipiente 10 suministra fluido al recipiente 60 para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 60. Durante la unidad de tiempo 10, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3D) en la que disminuye la presión del recipiente 10 y, simultáneamente, el recipiente 60 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3P) en la que aumenta la presión del recipiente 60. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 10, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 110, y después recorre el conducto 68 hacia el interior del recipiente 60 a través de la abertura 64. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 108 usando las válvulas 10C y 60C, si se desea.

60 Durante las unidades de tiempo 11 y 12, la válvula 60D está en un estado cerrado y las válvulas 10D y 70D están en un estado abierto. Durante las unidades de tiempo 11 y 12, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 70, que purga (P) los residuos abriendo la válvula 70E, descargándose de ese modo los residuos del recipiente 70 al colector de residuos 104 a través del conducto 73. Durante las unidades de tiempo 11 y 12, el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 14 y recorre el conducto 18 hasta el conducto de igualación 110, y después recorre el conducto 78 hacia el interior

del recipiente 70 a través de la abertura 74. El recipiente 70 se purga haciendo que el fluido salga a través de la abertura 72 y que recorra el conducto 73 hasta el colector de residuos 104. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 108 usando las válvulas 10C y 70C, si se desea.

5 Durante la unidad de tiempo 13, la válvula 10D está en un estado cerrado y la válvula 10E está en un estado abierto. Durante la unidad de tiempo 13, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de soplado a contracorriente (BD) en la que el fluido del recipiente 10 sale por la abertura 12 y recorre el conducto 13 hasta el colector de residuos 104.

10 Durante las unidades de tiempo 14 y 15, la válvula 10E está en el estado abierto y las válvulas 10D y 20D están en el estado abierto. Durante las unidades de tiempo 14 y 15, el recipiente 20 lleva a cabo una despresurización en el sentido de la corriente (PP) proporcionando gas de purga al recipiente 10, que purga (P) los residuos a través de la válvula abierta 10E, descargándose de ese modo los residuos del recipiente 10 al colector de residuos 104 a través del conducto 28 hasta el conducto de igualación 110, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. El recipiente 10 se purga haciendo que el fluido salga por la abertura 12 y que recorra el conducto 13 hasta el colector de residuos 104. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 108 usando las válvulas 10C y 20C, si se desea.

15 Durante las unidades de tiempo 14 y 15, el fluido del recipiente 20 sale por la abertura 24 y recorre el conducto 28 hasta el conducto de igualación 110, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. El recipiente 10 se purga haciendo que el fluido salga por la abertura 12 y que recorra el conducto 13 hasta el colector de residuos 104. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 108 usando las válvulas 10C y 20C, si se desea.

20 Durante la unidad de tiempo 16, las válvulas 10D y 30D están en un estado abierto con el fin de permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 30. Durante la unidad de tiempo 16, el recipiente 30 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3D) en la que disminuye la presión del recipiente 30 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de tercera fase (E3P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 16, la tercera etapa de igualación de presión se lleva a cabo usando las válvulas 10D y 30D. Por lo tanto, durante la unidad de tiempo 16, el fluido del recipiente 30 sale por la abertura 34 y recorre el conducto 38 hasta el conducto de igualación 110, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 108 usando las válvulas 10C y 30C, si se desea.

30 Durante las unidades de tiempo 17 y 18, la válvula 10D está en el estado cerrado y las válvulas 10C y 40C están en un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 40. Durante las unidades de tiempo 17 y 18, el recipiente 40 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2D) en la que disminuye la presión del recipiente 40 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de segunda fase (E2P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante las unidades de tiempo 17 y 18, la segunda etapa de igualación de presión se lleva a cabo usando las válvulas 10C y 40C. Por lo tanto, durante las unidades de tiempo 17 y 18, el fluido del recipiente 40 sale por la abertura 44 y recorre el conducto 46 hasta el conducto de igualación 108, y después recorre el conducto 16 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 110 usando las válvulas 10D y 40D, si se desea.

40 Durante la unidad de tiempo 19, la válvula 40C está en el estado cerrado y las válvulas 10C y 50C están en un estado abierto para permitir que se igualen las presiones de los recipientes 10 y 50. Durante la unidad de tiempo 19, el recipiente 50 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1D) en la que disminuye la presión del recipiente 50 y, simultáneamente, el recipiente 10 lleva a cabo una etapa de igualación de presión de primera fase (E1P) en la que aumenta la presión del recipiente 10. Durante la unidad de tiempo 19, el fluido del recipiente 50 sale por la abertura 54 y recorre el conducto 56 hasta el conducto de igualación 108, y después recorre el conducto 18 hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14. Debe observarse que esta etapa puede llevarse a cabo de manera alternativa a lo largo del conducto de igualación 110 usando las válvulas 10D y 50D, si se desea.

50 Durante las unidades de tiempo 20 y 21, las válvulas 10C y 50C están en un estado cerrado y la válvula 10B está en un estado abierto para llevar a cabo una etapa de represurización de producto final (FP) en el recipiente 10. Durante la etapa de represurización de producto final (FP), el fluido fluye desde los recipientes 60 y 70, los cuales están llevado a cabo actualmente la etapa de adsorción, hasta el colector de producto 102 a través de los conductos 65 y 75, y después desde el colector de producto 102 a lo largo del conducto 15 y hacia el interior del recipiente 10 a través de la abertura 14.

60 Los recipientes de adsorción restantes 20, 30, 40, 50, 60 y 70 siguen la misma secuencia de etapas, aunque cada secuencia de etapas está desfasada con respecto a los otros recipientes. Los procesos para cada uno de los recipientes de adsorción restantes 20, 30, 40, 50, 60 y 70 son similares a los descritos anteriormente con respecto al recipiente 10; sin embargo, las diversas etapas que requieren interacción entre los recipientes se llevarán a cabo utilizando recipientes diferentes según se especifica en el diagrama de ciclos PSA claramente expuesto en la figura 7.

65 La presente invención proporciona de manera ventajosa un sistema PSA que presenta una estructura que no es compleja y que puede llevar a cabo tres fases de igualación de presión con el fin de reducir las sacudidas de fluido

en el sistema. Las sacudidas de fluido pueden reducir la vida útil del adsorbente al provocar que los gránulos adsorbentes del lecho adsorbente se desplacen y se rocen entre sí, haciendo que los gránulos se desmenucen y creando un sedimento adsorbente.

5 Los sistemas PSA 1A, 1B, 1C y 1D pueden construirse de muchas formas diferentes usando muchas configuraciones diferentes de accesorios y válvulas. Una configuración preferida de un colector de válvulas que puede usarse con la presente invención se ilustra en la figura 9 el cual se ha descrito en la solicitud titulada "METHOD AND APPARATUS FOR PRESSURE SWING ADSORPTION", del inventor Franklin D. Lomax, Jr. et al., presentada y publicada como US 2004/0163534. El contenido de esta solicitud se incorpora en este documento
10 como referencia.

La figura 9 ilustra una vista tridimensional en perspectiva del colector de válvulas 12 que puede utilizarse con la presente invención. El colector de válvulas 120 ilustrado en la figura 9 puede utilizarse acoplado la base 122 a un extremo inferior del recipiente 10 de la figura 2. El colector de válvulas 120 está dotado de al menos una cavidad de
15 distribución 130, que puede proporcionarse en comunicación con el recipiente adsorbente 10 (véase la figura 2) a través de la abertura 12. La cavidad de distribución 130 es el conducto 11 ilustrado en la figura 2. El colector 120 está dotado además de un primer canal de fluido 140 que forma parte del colector fuente 100, cuando el canal de fluido 140 está conectado mediante conductos al mismo elemento en los colectores de válvula de los recipientes 20, 30 y 40. El colector 120 incluye además un segundo canal de fluido 160 que forma parte del colector de residuos
20 104, cuando el canal de fluido 160 está conectado a través de conductos al mismo elemento en los colectores de válvula de los recipientes 20, 30 y 40.

La cavidad de distribución 130 está en comunicación con el primer canal de fluido 140 a través de una galería interna o paso de fluido 152. El paso de fluido 152 es el conducto 11 ilustrado en la figura 2. Una válvula (no
25 ilustrada en la figura 9, pero ilustrada como la válvula 10A en la figura 2) está montada en un orificio 150 contra un asiento de válvula 154, de manera que la válvula puede controlar el flujo de fluido desde la cavidad de distribución 130 hasta el primer canal de fluido 140 a través del paso de fluido 152. La cavidad de distribución 130 está en comunicación con el segundo canal de fluido 160 a través de una galería interna o paso de fluido 172. El paso de fluido 172 es el conducto 13 ilustrado en la figura 2. Una válvula (no ilustrada en la figura 9, pero ilustrada como la
30 válvula 10E en la figura 2) está montada en un orificio 170 contra un asiento de válvula 174, de manera que la válvula puede controlar el flujo de fluido desde la cavidad de distribución 130 hasta el segundo canal de fluido 160 a través del paso de fluido 172.

El colector de válvulas 120 proporciona una estructura compacta que tiene un número mínimo de accesorios, lo que reduce por tanto el tamaño del sistema PSA y reduce la posibilidad de fugas. El colector de válvulas puede estar
35 dotado de canales de fluido adicionales o de válvulas adicionales que conectan la cavidad de distribución con el canal de fluido a través de pasos de fluido adicionales, según sea necesario en un sistema PSA particular. Por ejemplo, un colector de válvulas similar al ilustrado en la figura 9 puede utilizarse en un extremo superior del recipiente 10 en la abertura 14. Sin embargo, habría que proporcionar en el colector un orificio de válvula, un asiento de válvula y un paso de fluido adicionales y conectarlos a uno de los canales de fluido con el fin de proporcionar un
40 orificio para una válvula adicional ya que la abertura 14 está conectada al conducto de igualación 106 mediante dos válvulas 10C y 10D a través de dos conductos 16 y 18, respectivamente. Con respecto al extremo superior del recipiente 10 del sistema PSA 1D de la figura 8, es necesario añadir un canal de fluido adicional al colector de válvulas, ya que la abertura 14 está conectada al colector de producto 102, al conducto de igualación 108 y al
45 conducto de igualación 110.

Debe observarse que las válvulas de la presente invención están configuradas para no limitar el flujo a lo largo del canal y para no limitar el flujo en las cavidades. Las válvulas está configuradas simplemente para controlar el flujo de
50 fluido entre las cavidades y los canales a través de los pasos. Por consiguiente, si falla alguna válvula puede mantenerse el flujo a lo largo del canal y el flujo en la cavidad, si se desea.

Debe observarse que la realización a modo de ejemplo ilustrada y descrita en este documento muestra la realización preferida de la presente invención, y no pretende limitar el alcance de las reivindicaciones de ninguna manera.

55 Numerosas modificaciones y variaciones de la presente invención son posibles en vista de las enseñanzas anteriores. Por lo tanto, debe entenderse que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la invención puede llevarse a la práctica de una manera distinta a la descrita de manera específica en este documento.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de adsorción por cambios de presión caracterizado porque comprende las etapas de separar un mezcla de gases de alimentación adsorbiendo al menos un componente de gas en lechos adsorbentes previstos dentro de siete recipientes de adsorción (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70) con un primer conducto de igualación (108) que conecta cada recipiente de la pluralidad de recipientes y un segundo conducto de igualación (110), distinto del primer conducto de igualación, y que también conecta cada recipiente de la pluralidad de recipientes;
- 5 en el que cada uno de los siete recipientes de adsorción sigue la misma secuencia de etapas, donde la secuencia de etapas de cada recipiente está desfasada con respecto a los otros recipientes;
- 10 en el que la etapa de separación presenta una igualación de presión de tres fases (E1, E2, E3) y se lleva a cabo con no más de cinco válvulas (10A a 10E, 20A a 20E, 30A a 30E, 40A a 40E, 50A a 50E, 60A a 60E, 70A a 70E) por recipiente de la pluralidad de recipientes;
- 15 en el que la igualación de presión de tres fases se produce a través del primer conducto de igualación y del segundo conducto de igualación;
- 20 en el que la igualación de presión de tres fases comprende:
- a/- la etapa de abrir una primera válvula (10C, 20C, 30C, 40C, 50C, 60C, 70C) que conecta de manera fluida el primer conducto de igualación con uno de los siete recipientes, denominado como el primer recipiente, estando dicha primera válvula en un estado abierto y no impidiendo el flujo a lo largo del primer conducto de igualación hasta un primer recipiente restante de los siete recipientes,
- 25 b/- la etapa de abrir la primera válvula (10C, 20C, 30C, 40C, 50C, 60C, 70C) que conecta de manera fluida el primer conducto de igualación con el primer recipiente, estando dicha primera válvula en un estado abierto y no impidiendo el flujo a lo largo del primer conducto de igualación hasta un segundo recipiente restante de los siete recipientes,
- 30 c/- la etapa de abrir una segunda válvula (10D, 20D, 30D, 40D, 50D, 60D, 70D) que conecta de manera fluida el segundo conducto de igualación con el primer recipiente, estando dicha segunda válvula en un estado abierto y no impidiendo el flujo a lo largo del segundo conducto de igualación hasta un tercer recipiente restante de los siete recipientes,
- 35 estando la primera válvula en un estado cerrado durante el estado abierto de la segunda válvula durante la etapa c/ y estando la segunda válvula en un estado cerrado durante el estado abierto de la primera válvula durante las etapas a/ y b/;
- 40 en el que la primera válvula proporciona un primer caudal predeterminado durante un estado abierto, y en el que la segunda válvula proporciona un segundo caudal predeterminado durante un estado abierto.
2. El proceso según la reivindicación 1, en el que el primer caudal predeterminado es diferente del segundo caudal predeterminado.
- 45 3. El proceso según la reivindicación 1 o 2, en el que cada uno de los siete recipientes tiene:
- una primera abertura (12, 22, 32, 42, 52, 62, 72) conectada a un colector fuente de entrada (100) a través de una de las cinco válvulas, distinta de la primera y de la segunda válvula, denominada como la tercera válvula (10A, 20A, 30A, 40A, 50A, 60A, 70A) y conectada a un colector de salida de residuos (104) a través de otra de las cinco válvulas, distinta de la primera y de la segunda válvula, denominada como la cuarta válvula (10E, 20E, 30E, 40E, 50E, 60E, 70E); y
- 50 - una segunda abertura (14, 24, 34, 44, 64, 74) conectada a un colector de salida de producto (102) a través de otra de las cinco válvulas, distinta de la primera y de la segunda válvula, denominada como la quinta válvula (10B, 20B, 30B, 40B, 50B, 60B, 70B) y conectada al primer conducto de igualación a través de la primera válvula (10C, 20C, 30C, 40C, 50C, 60C, 70C) y la segunda válvula (10D, 20D, 30D, 40D, 50D, 60D, 70D), conectando el primer conducto de igualación cada recipiente de la pluralidad de recipientes.
- 55 4. El proceso según la reivindicación 3, en el que la secuencia de etapas de cada recipiente consiste en un ciclo que comprende:
- una etapa de adsorción (A) durante la cual la mezcla de gases de alimentación se suministra desde el colector fuente de entrada (100) hasta la primera abertura de uno de los siete recipientes;
- 60 - una primera etapa de igualación de presión (E1D, E2D, E3D) que presenta la igualación de presión de tres fases,
- 65

donde la presión en dicho recipiente de los siete recipientes disminuye durante la primera etapa de igualación de presión;

5 - una etapa de purga (PP) durante la cual los residuos se descargan desde el dicho recipiente hasta el colector de residuos a través de la cuarta válvula; y

10 - una segunda etapa de igualación de presión (E3P, E2P, E1P) que presenta la igualación de presión de tres fases, donde la presión en dicho recipiente de los siete recipientes aumenta durante la segunda etapa de igualación de presión.

5. El proceso según la reivindicación 4, en el que:

15 la primera etapa de igualación de presión comprende una despresurización en el sentido de la corriente (PP) que proporciona la etapa de gas de purga durante la cual el fluido sale de la segunda abertura desde el interior de dicho recipiente de los siete recipientes hasta el segundo conducto de igualación; y

20 la segunda etapa de igualación de presión comprende una etapa de represurización de producto final (FP) después de la igualación de presión de tres fases, donde el fluido fluye desde el colector de producto y a través de la segunda abertura hacia el interior de dicho recipiente de los siete recipientes durante dicha etapa de represurización de producto final (FP).

25 6. El proceso según la reivindicación 5, en el que las tres fases de igualación de presión/despresurización de la primera etapa de igualación de presión se producen antes de la despresurización en el sentido de la corriente que proporciona la etapa de gas de purga.

7. El proceso según la reivindicación 6, que comprende además un etapa de soplado a contracorriente (BD) antes de la etapa de purga (PP), donde el fluido del interior de dicho recipiente de los siete recipientes sale a través de la primera abertura y se desplaza hasta el colector de residuos de salida (104) durante dicho soplado a contracorriente (BD).

RECIPIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
10	A			E1D			PP			E2D BD			P			E2P E1P			FP						
20	BD	P			E2P E1P			FP			A			E1D			PP			E2D					
30	E1D	PP			E2D BD			P			E2P E1P			FP			A								
40	E1P	FP			A			E1D			PP			E2D BD			P			E2P					

FIG. 1

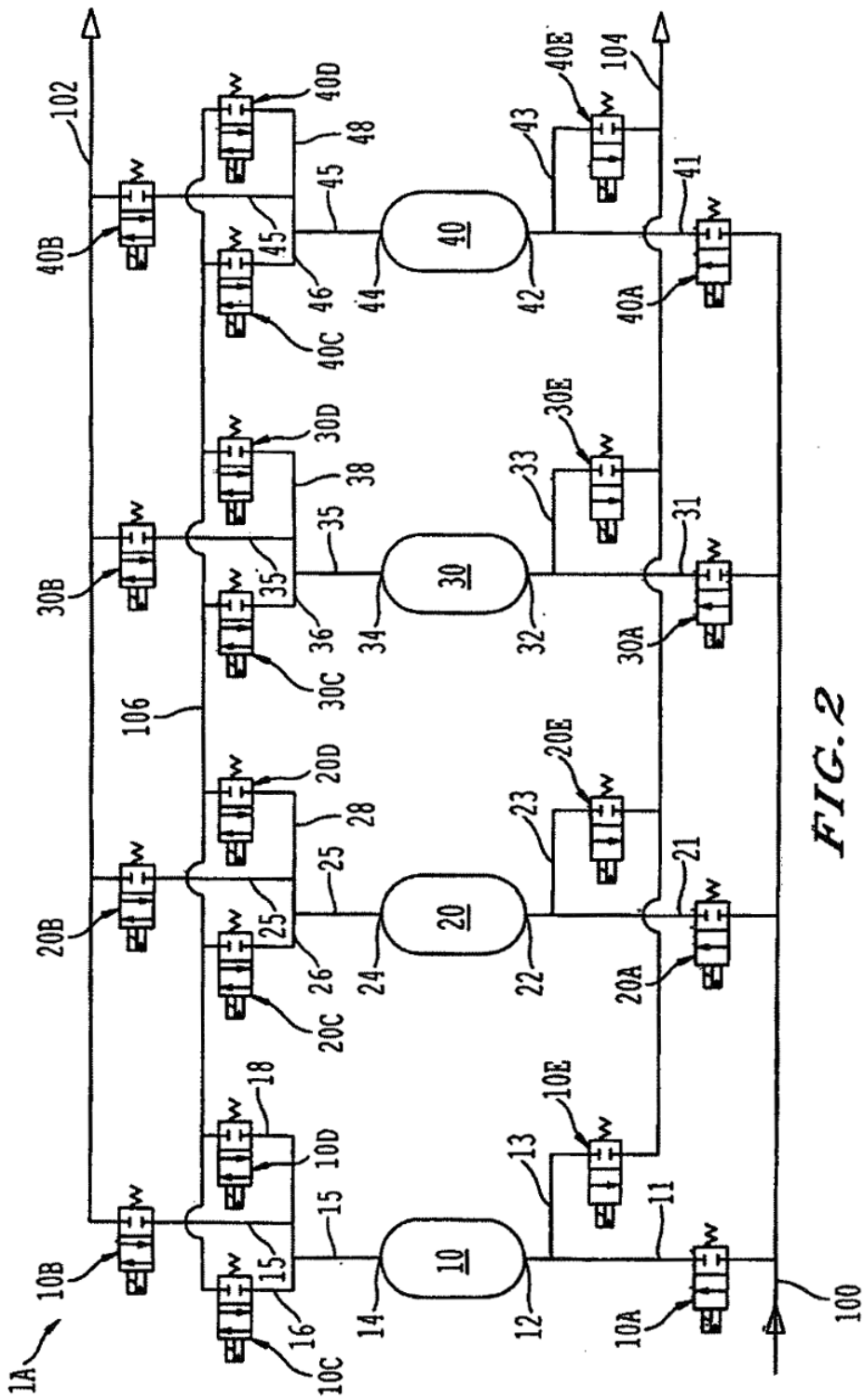


FIG. 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	UNIDAD DE TIEMPO
10	E1D E2D		PP	BD	H	H	P	H	H E2P	H			E1P	FP							
20	A			E1D E2D	PP	BD	H	P	H E2P	H			H E2P	H	EP				A		
30	E1P		FP		A			E1D E2D	PP	BD	H		BD	H	P	H	H E2P	H			
40	H E2P	H	H	E1P	FP			A		E1D E2D			E1D E2D	PP	BD	H					
50	BD	H	P	H	E2P	H		E1P	FP					A		E1D E2D					

FIG. 3

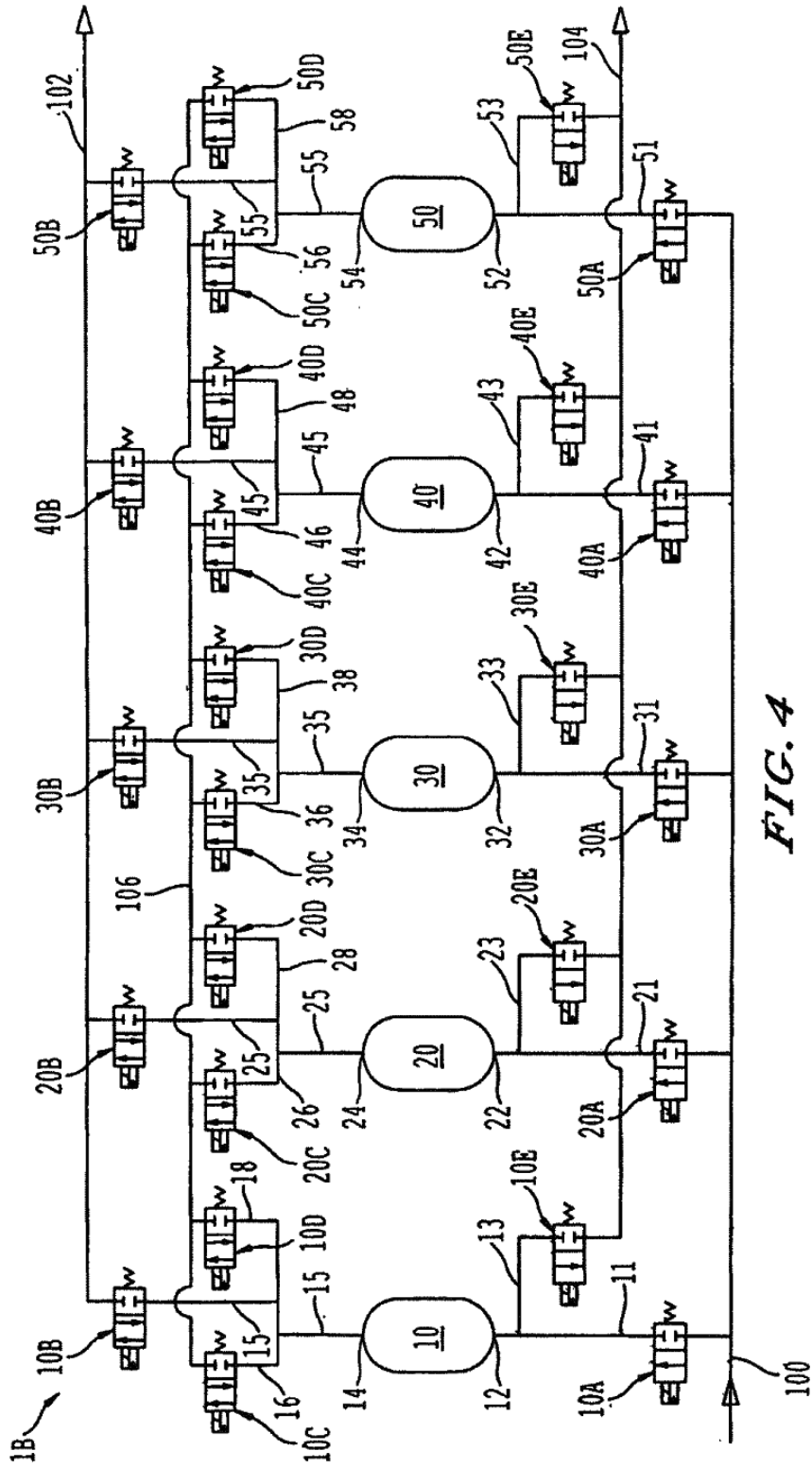


FIG. 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	UNIDAD DE TIEMPO															
10	A																																							
ADSORBEDOR 20	H	E1P	FP	A																																				
30	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																																	
40	H	P	H	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																														
50	E3D	PP	BD	H	P	H	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																											
60	A	E1D	E2D	E3D	PP	BD	H	P	H	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																								

FIG. 5

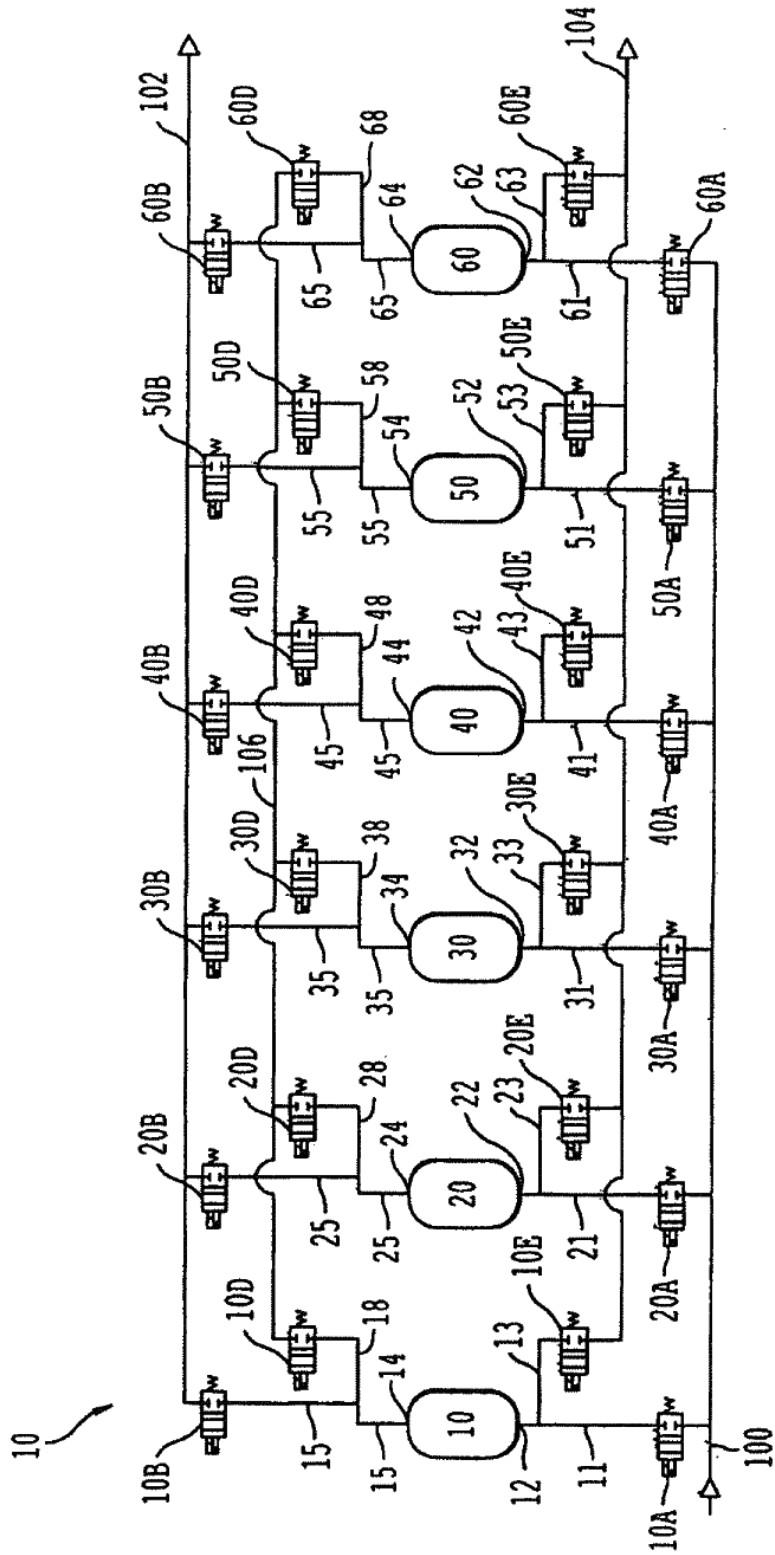


FIG. 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	UNIDAD DE TIEMPO										
10	A																															
20	E1P	FP	A																													
30	E3P	E2P	E1P	FP	A																											
40	BD	P	E3P	E2P	E1P	FP	A																									
50	E3D	PP	BD	P	E3P	E2P	E1P	FP	A																							
60	E1D	E2D	E3D	PP	BD	P	E3P	E2P	E1P	FP	A																					
70	A																															
	E1D	E2D	E3D	PP	BD	P	E3P	E2P	E1P	FP	E1D	E2D	E3D	PP	BD	P	E3P	E2P	E1P	FP												

FIG. 7

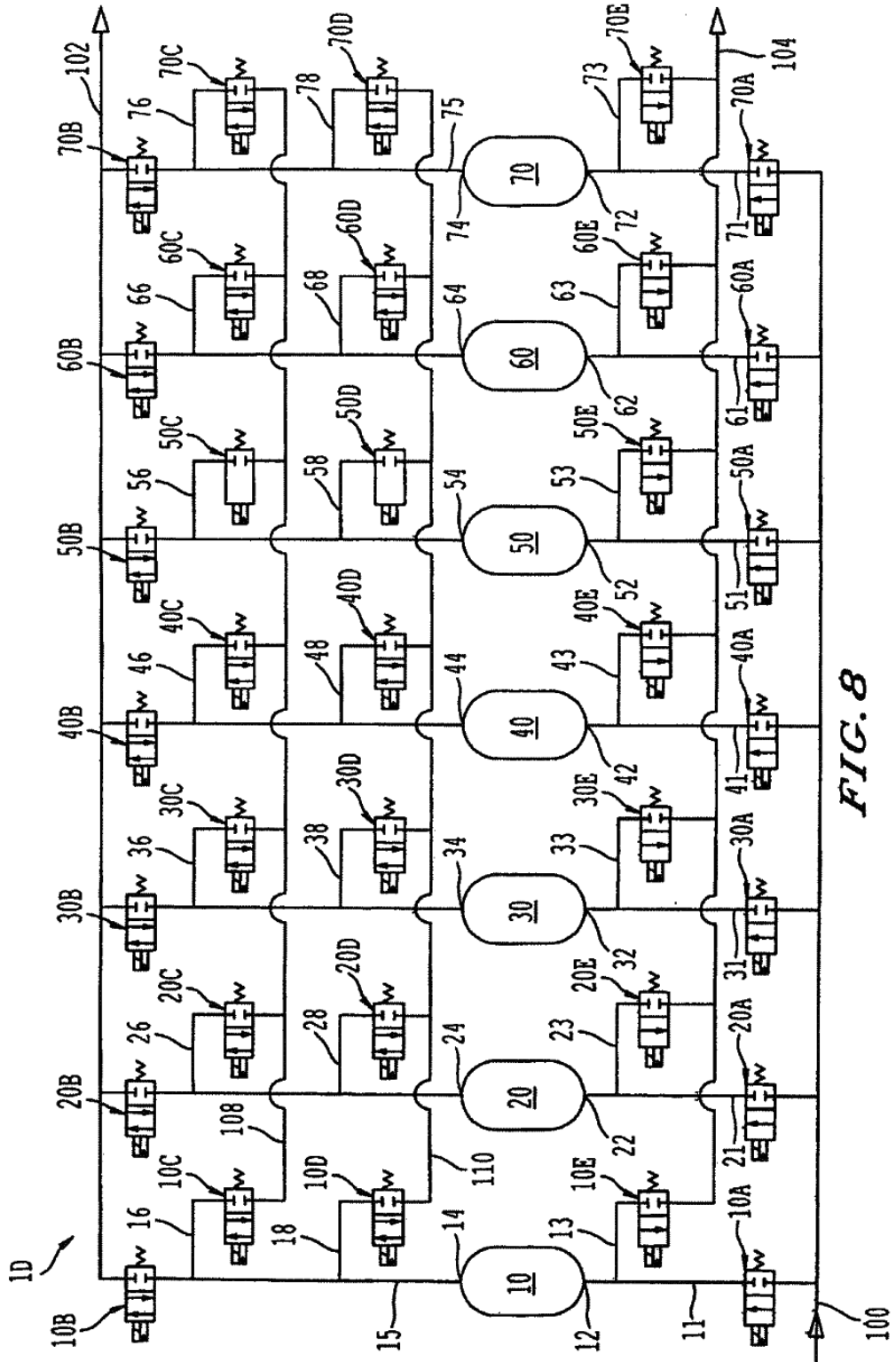


FIG. 8

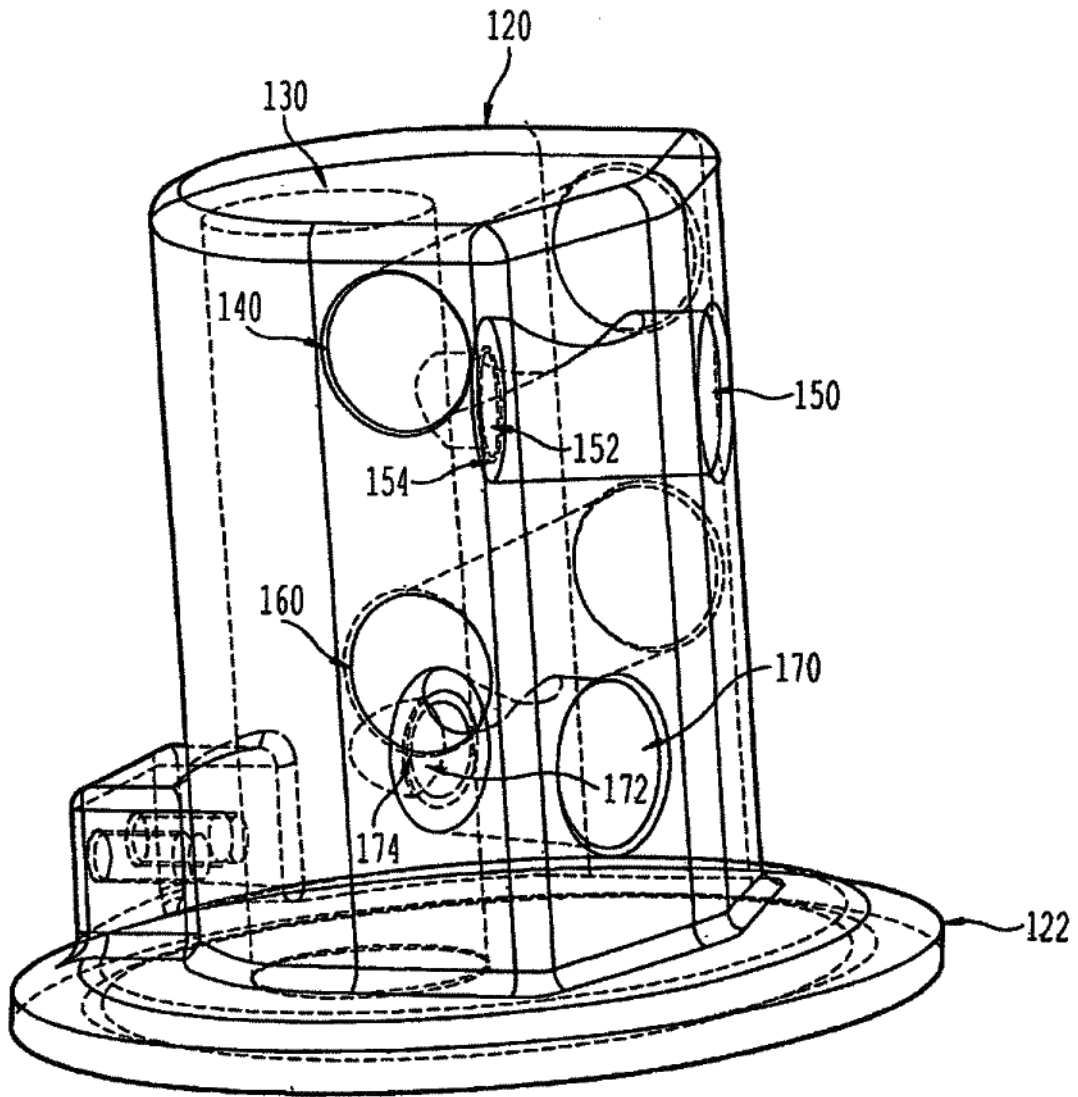


FIG. 9