

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 833 073**

51 Int. Cl.:

B01D 53/047 (2006.01)

B01D 53/04 (2006.01)

B01D 53/053 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.03.2007** **PCT/US2007/063395**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.09.0007** **WO07103926**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.03.2007** **E 07757990 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2020** **EP 1993706**

54 Título: **Sistema de medición y control de presión PSA**

30 Prioridad:

06.03.2006 US 778912 P

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

14.06.2021

73 Titular/es:

LUMMUS TECHNOLOGY INC. (100.0%)
1515 Broad Street
Bloomfield, NJ 07930, US

72 Inventor/es:

LOMAX, FRANKLIN D.;
VAN DYKE, CHRIS;
LEITCH, KELLY R. y
TODD, RICHARD S.

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 833 073 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de medición y control de presión PSA

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere generalmente a sistemas de adsorción por oscilación de presión. Más específicamente, la presente invención se refiere a un sistema de monitoreo y control de sistemas de adsorción por oscilación de presión.

Discusión de los antecedentes

[0002] Los sistemas de adsorción por oscilación de presión (PSA - Pressure Swing Adsorption) se utilizan para la separación de uno o más gases de una mezcla de gases. Un aparato de PSA generalmente incluye múltiples recipientes a presión llenos con un adsorbente/adsorbentes adecuado, con cada recipiente conectado posteriormente a dos o más válvulas de apertura/cierre que admiten y expulsan gases secuencialmente a diferentes presiones para afectar la separación de gases. El ciclo de PSA se define ajustando el tiempo que el recipiente está abierto al canal del producto en relación con el tiempo necesario para regenerar el adsorbente dentro de cada recipiente. Dada la naturaleza cíclica de un sistema de PSA, se requieren múltiples recipientes que operan fuera de fase entre sí para mantener la entrega constante del producto. Las etapas de regeneración a menudo implican el intercambio de gas entre diferentes recipientes para realizar la ecualización de presión y purga.

[0003] Un aspecto importante de los sistemas de PSA de múltiples recipientes es la implementación de la ecualización de presión para conservar la energía de presión. El procedimiento de igualar las presiones entre dos recipientes, en lugar de expulsar la presión al canal de gas residual, mejora la recuperación del componente ligeramente adsorbido. La ecualización de presión se realiza cuando el gas de un primer recipiente de presión, a una presión alta, se dirige a través de una válvula de apertura/cierre en una sección de tubería (denominada aquí el "canal de ecualización"), llena el canal de ecualización y a continuación se dirige a un segundo recipiente, a una presión más baja, a través de una segunda válvula de apertura/cierre. Durante esta etapa de ecualización de presión, todas las válvulas de apertura/cierres restantes que conectan otros recipientes al canal de ecualización están cerradas. El primer recipiente, que proporciona gas, disminuye la presión, mientras que el segundo recipiente, que recibe gas, aumenta la presión hasta que los dos recipientes alcanzan una presión final común.

[0004] El sistema de PSA descrito en la Patente EE. UU. N.º 6.699.307 a Lomax y col. describe un sistema de PSA de siete recipientes con tres ecualizaciones de presión. Durante la primera etapa de ecualización de presión, un recipiente a alta presión, p_1 , se abre al canal de ecualización al mismo tiempo que un recipiente a una presión intermedia inferior, p_3 , se abre al canal de ecualización. El gas fluye a través del canal de ecualización hasta que los dos recipientes alcanzan una presión intermedia, p_2 , donde $p_3 < p_2 < p_1$. La segunda etapa de ecualización de presión abre el recipiente que disminuyó en presión a p_2 al canal de ecualización al mismo tiempo que otro recipiente a una presión intermedia inferior, p_4 , se abre al canal de ecualización. El gas fluye a través del canal de ecualización hasta que los dos recipientes alcanzan una presión intermedia, p_3 , donde $p_4 < p_3 < p_2$. La tercera etapa de ecualización de presión abre el recipiente que disminuyó en presión a p_3 al canal de ecualización al mismo tiempo que otro recipiente a una presión intermedia inferior, p_6 , se abre al canal de ecualización. El gas fluye a través del canal de ecualización hasta que los dos recipientes alcanzan una presión intermedia, p_4 , donde $p_6 < p_4 < p_3$. A medida que disminuye la presión en el recipiente que proporciona gas de ecualización, la capacidad del adsorbente para retener las impurezas en la fase adsorbida disminuye según la isoterma de equilibrio y el frente de composición de cada impureza continúa moviéndose hacia el extremo de descarga donde se retira el gas. Es una condición deseable de ecualización de presión para evitar la irrupción de impurezas en el canal de ecualización proporcionando suficiente masa adsorbente para absorber la propagación de estos frentes de composición.

[0005] La purga es otro aspecto importante de los sistemas de PSA de múltiples recipientes para mantener la pureza del gas del producto. Si la purga es insuficiente, entonces las impurezas desabsorbidas durante la etapa de despresurización no se eliminan del espacio vacío, contaminando consecuentemente el producto en la siguiente etapa de producción. Sin embargo, si la purga es demasiado grande, entonces el volumen de gas de producto valioso que pasa de nuevo a través del recipiente es superior al necesario para limpiar el espacio vacío de impurezas desabsorbidas al nivel de pureza deseado. La sobrepurga provoca una caída indeseable en la recuperación del producto.

[0006] En el ciclo de PSA descrito en la Patente EE. UU. N.º 6.699.307 a Lomax y col., el recipiente que proporciona purga está disminuyendo progresivamente la presión de alguna presión intermedia, p_4 , a una presión final, p_5 , donde $p_4 > p_5$. La etapa de purga requiere que la proporción de gas de purga a alimentación sea suficiente para mantener la pureza del producto, lo que requiere que se manipule p_5 para lograr el volumen requerido de gas pasado fuera del recipiente de suministro. Aunque el avance de las impurezas de gas durante la ecualización de

presión es indeseable, puede ocurrir una pequeña cantidad de avance durante la purga a medida que la presión disminuye aún más para lograr la relación de purga a alimentación deseada. Por lo tanto, una composición variable en el tiempo que comienza relativamente limpia y aumenta progresivamente en los niveles de impurezas se pasa a una tubería que conecta estos recipientes (denominada aquí el "canal de purga"). Este gas, que se ha pasado al canal de purga, se expande a través de un dispositivo de constricción de flujo y a continuación se dirige a la parte superior de un segundo recipiente que se ha sometido a despresurización y está a la presión más baja del ciclo. Según la isoterma de equilibrio, la presión más baja durante el ciclo concentrará la mayoría de las impurezas en el espacio vacío que rodea al adsorbente. La etapa de purga de recepción implica posteriormente el barrido de estas impurezas del espacio vacío en el canal de gas residual del sistema de PSA usando gas dirigido desde el recipiente de purga de suministro. Además, la corriente de purga de suministro, enriquecida en el componente ligeramente adsorbido, ayuda además a la desorción de las impurezas al reducir su concentración que rodea al adsorbente en el espacio vacío.

[0007] El gas que queda en el canal de purga al final del acoplamiento de purga anterior es más pesado en impurezas que cuando el recipiente de purga de suministro se abrió por primera vez al canal de purga. Por lo tanto, la sección del canal de purga entre el recipiente que proporciona y el recipiente de purga de recepción debe enjuagarse empujando este gas inicialmente impuro en el recipiente de recepción hasta que el flujo de gas descargado del recipiente de purga de suministro llegue al recipiente de recepción. Los inventores han determinado que si la distancia entre los recipientes que proporcionan y reciben purga no se mantiene uniforme, entonces la composición variable en el tiempo recibida en el recipiente de purga de recepción también variará. Los inventores han determinado que esto resultará en que uno o varios recipientes en el sistema estén desequilibrados con los otros en términos de composición axial final a través del recipiente al final de la purga, lo que potencialmente resultará en el envío de gas fuera de especificación al canal del producto en la siguiente etapa de producción.

[0008] La comparación de sistemas de PSA de múltiples recipientes que invocan, proporcionan y reciben purga de la manera anterior muestra varios problemas que surgen con esta distancia de compensación entre recipientes que intercambian gas a través del canal de purga. Por ejemplo, la Patente EE. UU. N.º 3,986,849 a Fuderer y col. describe un sistema de diez recipientes que acopla los recipientes que proporcionan y reciben purga a una distancia de dos recipientes, con la excepción de dos de los recipientes en los que la distancia del canal de purga salta a ocho recipientes. La Patente EE. UU. N.º 4,315,759 a Benkmann describe un sistema de nueve recipientes donde la distancia entre recipientes de purga acoplados es de dos recipientes, con la excepción de dos etapas donde esta distancia aumenta a siete recipientes. La Patente EE. UU. N.º 6,565,628 a Xu y col. describe un sistema de dieciséis recipientes donde la distancia entre recipientes de purga acoplados es de cuatro recipientes, con la excepción de cuatro etapas donde esta distancia se extiende a doce recipientes. Los inventores han determinado que dichos sistemas darán como resultado que uno o más recipientes estén desequilibrados con los otros en términos de composición axial final a través del recipiente al final de la purga, lo que potencialmente dará como resultado que se envíe gas fuera de especificación al canal del producto en la siguiente etapa de producción.

[0009] El documento EP 0 086 436 describe un sistema y procedimiento de PSA según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 13.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0010] En un esfuerzo por eliminar los problemas anteriores, los inventores han construido un sistema de control y medición de presión de PSA como se describe a continuación.

[0011] La presente invención proporciona ventajosamente un sistema de adsorción por oscilación de presión como se reivindica en la reivindicación 1, con el fin de determinar el rendimiento del ciclo y monitorear el funcionamiento adecuado del sistema.

[0012] La presente invención proporciona ventajosamente un sistema en el que se puede usar un controlador para monitorear el ciclo de PSA realizado dentro de un módulo del sistema de PSA usando solo al menos una presión medida por el al menos un dispositivo de medición de presión, independientemente de la cantidad de recipientes utilizados en el módulo del sistema de PSA.

[0013] La presente invención proporciona además de manera ventajosa un procedimiento para monitorear un sistema de PSA, tal como se define en el conjunto de reivindicaciones.

[0014] La presente invención permite el monitoreo del rendimiento del ciclo de PSA dentro de un módulo usando solo la presión medida dentro de al menos un canal paralelo, independientemente de la cantidad de recipientes usados en el módulo del sistema de PSA.

[0015] La presente invención posibilita además controlar una descarga de un tanque de sobrecarga de residuos conectado al canal de residuos mediante el uso de una presión medida dentro del canal de purga.

[0016] La presente invención también permite determinar una cantidad total de recipientes de la pluralidad de recipientes utilizados para realizar el ciclo de PSA de modo que al menos cuatro recipientes de la pluralidad de recipientes estén abiertos al canal de alimentación durante cada etapa del ciclo de PSA.

5 **[0017]** La presente invención también permite que todas las etapas del ciclo de PSA se configuren para minimizar una distancia entre un recipiente de la pluralidad de recipientes que proporciona gas de purga y un recipiente de la pluralidad de recipientes que recibe el gas de purga del primer recipiente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

10

[0018] Una apreciación más completa de la invención y muchas de las ventajas concomitantes de la misma se hará fácilmente evidente con referencia a la siguiente descripción detallada, particularmente cuando se considera junto con los dibujos adjuntos, en los que:

- 15 La FIG. 1A es un diagrama esquemático de un sistema de PSA de siete recipientes;
La FIG. 1B es una disposición de ciclo de PSA para el sistema de PSA de siete recipientes de la FIG. 1A;
La FIG. 1C es una gráfica de trazas de presión según la presente invención en la que se proporcionan dispositivos de medición de presión en el canal del producto, el canal de ecualización y el canal de purga del sistema de PSA de siete recipientes de la FIG. 1A, que se muestran en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la
- 20 FIG. 1B;
La FIG. 1D es una gráfica de trazas de presión según la técnica relacionada en la que se proporcionan transductores de presión en cada recipiente del sistema de PSA de siete recipientes de la FIG. 1A, que se muestra en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la FIG. 1B;
La FIG. 2A es un diagrama esquemático de un sistema de PSA de ocho recipientes;
- 25 La FIG. 2B es una disposición de ciclo de PSA para el sistema de PSA de ocho recipientes de la FIG. 2A;
La FIG. 2C es una gráfica de trazas de presión según la presente invención en la que se proporcionan dispositivos de medición de presión en el canal del producto, el canal de ecualización y el canal de purga del sistema de PSA de ocho recipientes de la FIG. 2A, que se muestran en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la FIG. 2B;
- 30 La FIG. 2D es una gráfica de trazas de presión según la técnica relacionada en la que se proporcionan transductores de presión en cada recipiente del sistema de PSA de ocho recipientes de la FIG. 2A, que se muestra en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la FIG. 2B;
La FIG. 3A es un diagrama esquemático de un sistema de PSA de nueve recipientes;
- 35 La FIG. 3B es una disposición de ciclo de PSA para el sistema de PSA de nueve recipientes de la FIG. 3A;
La FIG. 3C es una gráfica de trazas de presión según la presente invención en la que se proporcionan dispositivos de medición de presión en el canal del producto, el canal de ecualización y el canal de purga del sistema de PSA de nueve recipientes de la FIG. 3A, que se muestran en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la FIG. 3B;
- 40 La FIG. 3D es una gráfica de trazas de presión según la técnica relacionada en la que se proporcionan transductores de presión en cada recipiente del sistema de PSA de nueve recipientes de la FIG. 3A, que se muestra en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la FIG. 3B;
La FIG. 4A es un diagrama esquemático de un sistema de PSA de diez recipientes;
- 45 La FIG. 4B es una disposición de ciclo de PSA para el sistema de PSA de diez recipientes de la FIG. 4A;
La FIG. 4C es una gráfica de trazas de presión según la presente invención en la que se proporcionan dispositivos de medición de presión en el canal del producto, el canal de ecualización y el canal de purga del sistema de PSA de diez recipientes de la FIG. 4A, que se muestran en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la FIG. 4B;
- 50 La FIG. 4D es una gráfica de trazas de presión según la técnica relacionada en la que se proporcionan transductores de presión en cada recipiente del sistema de PSA de diez recipientes de la FIG. 4A, que se muestra en correspondencia con la disposición del ciclo de PSA de la FIG. 4B;
La FIG. 5 es un diagrama esquemático de un sistema de PSA de siete recipientes que representa una ventaja de la presente invención; y la FIG. 6 es un diagrama esquemático de un sistema generador de hidrógeno que representa una ventaja de la presente invención;

55 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0019] A continuación, se describirán las realizaciones de la presente invención en referencia a los dibujos. En la siguiente descripción, los elementos constituyentes que tienen sustancialmente la misma función y disposición se denotan con los mismos números de referencia, y solo se realizarán descripciones repetitivas cuando sea necesario.

60

[0020] Un primer aspecto de la presente invención proporciona que, desde un punto de vista de control, es fundamental verificar que cada etapa del ciclo se ha realizado correctamente y que se ha producido la secuenciación correcta de la apertura y el cierre de las válvulas de apertura/cierre a los canales de ecualización, purga y producto. Además de verificar el correcto funcionamiento de la válvula durante el funcionamiento normal, se puede utilizar un

65 conocimiento preciso y en tiempo real de la presión en cada uno de los recipientes en el sistema de PSA para:

- 1.) Precargar los recipientes con gas durante el inicio del funcionamiento;
- 2.) Despresurizar los recipientes a una presión predeterminada en el cierre; y
- 3.) Verificar la estanqueidad del sistema de PSA a través de un procedimiento de verificación de presión, automático o manual.

[0021] Aunque el uso de uno o más dispositivos de medición de presión para cada recipiente puede usarse para lograr los objetivos deseados, esto aumenta de manera desventajosa el costo y la complejidad. Los inventores han determinado que, con los recipientes conectados a través de canales paralelos, tales como los canales de ecualización, purga y producto identificados previamente, solo se necesita un dispositivo de medición de presión para cada canal paralelo, i, con el fin de lograr los objetivos deseados para cualquier cantidad de recipientes, N, conectados a los canales paralelos, i. Por ejemplo, en una configuración de siete recipientes que realiza tres ecualizaciones de presión, se pueden proporcionar tres dispositivos de medición de presión M1, M2 y M3 en los tres canales paralelos 130, 140 y 150 en el cabezal superior, tal como se ilustra en la FIG. 1A. Por lo tanto, según la presente invención, el número de dispositivos de medición de presión utilizados en esta configuración es tres, lo que es ventajosamente menos de la mitad del número que se requeriría si se proporcionaran uno o más dispositivos de medición de presión para cada recipiente (es decir, siete recipientes y siete transductores de presión) como en la técnica relacionada. Alternativamente, es posible usar solo sensores en los canales de purga y ecualización en configuraciones en las que se utilizan múltiples módulos en paralelo. Además, se observa que la invención se puede aplicar a ciclos que incluyen cualquier cantidad de ecualizaciones (por ejemplo, una, dos, tres, etc.) y cualquier cantidad de recipientes. Por ejemplo, la invención se puede aplicar a un ciclo simple de dos ecualizaciones en el que solo se pueden requerir uno o dos sensores para monitorear y controlar eficazmente el sistema.

[0022] El sistema de control se puede utilizar ventajosamente junto con un medio de comunicación, tal como una conexión Ethernet, para facilitar el monitoreo remoto del funcionamiento del PSA. Los datos recibidos a través de los medios de comunicación se pueden utilizar para identificar de forma remota la causa raíz de cualquier modo de falla observado. Dicha operación de monitoreo remoto se puede usar junto con o independientemente de cualquier interfaz máquina-humana local, que proporcionaría códigos de falla detallados basados en la información de los sensores de presión. Debido a que cada uno de los dispositivos de medición de presión, i, fluctúa entre dos valores de presión bien definidos, es posible usar presostatos simples en lugar de un dispositivo de medición de presión continua, tal como transductores de presión. El uso de presostatos simples reduce ventajosamente el costo de los dispositivos de medición de presión y permite un sistema de control digital simple que utiliza los datos de los dispositivos de medición de presión, i, en combinación con el conocimiento de la duración de las etapas del ciclo de PSA.

[0023] Los recipientes que realicen la purga deben estar lo más cerca posible entre sí en el diagrama de flujo. La presente descripción indica que se debe implementar una disposición de ciclo lógico para evitar que una cantidad seleccionada de recipientes esté a una distancia significativa aparte de la mayoría de los acoplamientos de purga cuando el sistema contiene una gran cantidad de recipientes. La presente descripción propone un ciclo de PSA para N recipientes que están dispuestos de la siguiente manera:

- 1.) Iniciar la etapa 1 con el recipiente 2 que proporciona purga y el recipiente 1 que recibe purga;
- 2.) Asignar el recipiente 4 para proporcionar purga en la etapa en que el recipiente 2 recibe purgas;
- 3.) Asignar el recipiente i (i es par, $i \leq N$, $i \leq 4$) para proporcionar purga en la etapa en que el recipiente i-2 recibe purgas;
- 4.) Repetir la etapa 3.) hasta que se alcance el recipiente N o N-1 si N es impar, si N es impar, asignar el recipiente N para proporcionar purga en la etapa en que el recipiente N-1 recibe purga;
- 5.)

- a.) Si N es par, asignar el recipiente N-1 para proporcionar purga en la etapa en que el recipiente N recibe purga,
- b.) Si N es impar, asignar el recipiente N-2 para proporcionar purga en la etapa en que el recipiente N recibe purga; y

6.)

- a.) Si N es par, asignar el recipiente i (donde $i=N-3$, $N-5$, $N-7$, etc., $i > 1$) para proporcionar purga en la etapa en que el recipiente i+2 recibe purga,
- b.) Si N es impar, asignar el recipiente i (donde $i = N-4$, $N-6$, $N-8$, etc., $i > 1$) para proporcionar purga en la etapa en que el recipiente i+2 recibe purga.

[0024] El aspecto anterior de la presente invención proporciona mejoras de varias veces en el control y funcionamiento de un sistema de PSA de múltiples recipientes. La Tabla 1 compara estas mejoras en términos del número total de recipientes a presión requeridos en el sistema que deben llenarse con adsorbente y el número de sensores de presión que se requieren por número de recipientes en el sistema.

		Número total de recipientes		Número de sensores de presión por	
		Con adsorbente en el sistema		Recipiente	
Número de módulos de PSA	Número de recipientes por módulo	Técnica relacionada	Presente Invención	Técnica relacionada	Presente Invención
1	6	6	6	1	0,500
2	6	12	12	1	0,500
3	6	18	18	1	0,500
4	6	24	24	1	0,500
1	7	7	7	1	0,429
2	7	14	14	1	0,429
3	7	21	21	1	0,429
4	7	28	28	1	0,429
1	8	8	8	1	0,375
1	9	9	9	1	0,333
1	10	10	10	1	0,300
1	11	11	11	1	0,273
1	12	12	12	1	0,250

Tabla 1: Comparación de la técnica relacionada con la presente invención para varios números de recipientes

[0025] La complejidad y el costo asociados con el control y monitoreo del sistema de PSA se reducen con el uso de sensores de presión, i, para cualquier número de recipientes, N, en el sistema. En el sistema de la técnica relacionada, el sistema monitorea una señal de presión que varía continuamente para cada uno de los recipientes, cuyos ejemplos se pueden ver en las FIGS. 1D, 2D, 3D y 4D (tenga en cuenta que la traza de presión para el recipiente 1 está en negrita, y los otros recipientes tienen la misma traza de presión de forma, pero que se escalonan en el tiempo), para comparación con la presente invención. Sin embargo, cuando el sistema está configurado según la presente invención, como en las FIGS. 1A, 2A, 3A y 4A, cada uno de los dispositivos de medición de presión, i, en los canales paralelos registra un pulso de presión para cada recipiente a su vez, ejemplos de los cuales se pueden ver en las FIGS. 1C, 2C, 3C y 4C. Por lo tanto, en el sistema de siete recipientes como se ilustra en las FIGS. 1A-1C, usando tres ecualizaciones de presión, el dispositivo de medición de presión M1 en el canal de producto 130 registra una caída de presión en cada instancia de la etapa de presurización final. Por lo tanto, si la etapa de presurización final no ocurre debido a la falla de la válvula del producto del recipiente en abrirse, esta caída de presión no será evidente en el momento apropiado.

[0026] En el caso del canal de ecualización 140 que maneja la primera y segunda ecualización, la presión medida por el dispositivo de medición de presión M2 en el canal de ecualización 140 oscilará entre una presión, p2, lograda al final de la primera presurización y una presión más baja, p3, lograda al final de la segunda ecualización. El dispositivo de medición de presión M3 en el canal de purga 150, que se utiliza para ejecutar las terceras etapas de ecualización y purga de presión, registrará presiones que varían entre la presión de ecualización final, p4, y una presión cercana a la más baja en el sistema, p6, debido a los dispositivos de estrangulamiento (no mostrados) en el canal de purga 150. En el caso del dispositivo de medición de presión M2 o del dispositivo de medición de presión M3, está claro que, si se produce un mal funcionamiento en cualquiera de estas etapas, las lecturas de presión no alcanzarán los valores deseados en el momento adecuado. Por lo tanto, se puede usar un sistema de control para usar con los dispositivos de medición de presión para monitorear las presiones y correlacionar las presiones logradas en cada uno de los tres dispositivos de medición de presión e identificar fallas sospechosas para notificar al operador la falla para mantenimiento, y posible reconfiguración hasta que se pueda realizar el mantenimiento. Ventajosamente, el sistema

de control puede incluso reducir los posibles puntos de falla a las válvulas asociadas solo con el cambio de presión esperado de los recipientes en cuestión. Dichos diagnósticos pueden permitir una posible reconfiguración del sistema, por ejemplo, cambiando la disposición de ciclo de modo que la válvula/ recipiente defectuoso se excluya del ciclo de modo que el sistema pueda continuar realizando un ciclo de PSA hasta que se pueda realizar el mantenimiento en el

5 componente defectuoso.

[0027] En las FIGS. 1A-1C, 2A-2C, 3A-3C y 4A-4C, respectivamente, se ilustran cuatro ejemplos diferentes que aplican la disposición de ciclo de PSA de la presente invención para sistemas de PSA de siete, ocho, nueve y diez recipientes, cada uno de los cuales inicia tres etapas de ecualización de presión. Las FIGS. 1A, 2A, 3A y 4A ilustran diagramas esquemáticos de tuberías e instrumentación para cada disposición del sistema de PSA con dispositivos de medición de presión M1, M2 y M3 que se muestran en el canal de producto 130, el canal de ecualización 140 y el canal de purga 150, respectivamente. Las FIGS. 1B, 2B, 3B y 4B muestran la disposición de ciclo resultante para los respectivos sistemas de PSA, y las FIGS. 1C, 2C, 3C y 4C son gráficas de trazas de presión registradas a partir de estas disposiciones respectivas. Más específicamente, las FIGS. 1C, 2C, 3C y 4C son gráficas de trazas de presión según la presente invención en las que se proporcionan dispositivos de medición de presión en el canal del producto, el canal de ecualización y el canal de purga de los sistemas de PSA, que se muestran en correspondencia con su respectiva disposición del ciclo de PSA.

[0028] Además, las FIGS. 1D, 2D, 3D y 4D son gráficas de trazas de presión instaladas en los sistemas de PSA utilizando el procedimiento de la técnica relacionada de incluir un transductor de presión en cada recipiente del sistema de PSA. En cada una de las FIGS. 1D, 2D, 3D y 4D, la traza de presión para el recipiente 1 está en negrita, y los otros recipientes tienen la misma traza de presión de forma que el recipiente 1 en su figura respectiva, pero las trazas de los otros recipientes se escalonan en el tiempo como se ve en las figuras. Estas trazas de presión relacionadas con la técnica se muestran como una comparación para resaltar la mejora en la capacidad de diagnóstico y la simplicidad proporcionadas por la presente invención. Por ejemplo, se observa que en los dispositivos de medición de presión de la presente invención, cada ciclo está entre sus propios intervalos de presión fijos relativamente estrechos (por ejemplo, los ciclos del dispositivo de medición de presión del canal de producto M1 generalmente entre p2 y p1, los ciclos del dispositivo de medición de presión del canal de ecualización M2 generalmente entre p3 y p2, y los ciclos del dispositivo de medición de presión del canal de purga M3 generalmente entre p6 y p4) mientras que cada uno de los transductores de presión del ciclo de la técnica relacionada se encuentra entre p6 y p1. (Tener en cuenta que en las figuras $p6 < p5 < p4 < p3 < p2 < p1$.)

[0029] Las tablas de válvulas asociadas con las cuatro configuraciones representadas en las figuras 1A, 2A, 3A y 4A se muestran en las Tablas 2-5, respectivamente, que indican las válvulas de apertura/cierre que están en un estado abierto en varias etapas durante los ciclos de PSA que se muestran en las figuras 1B, 2B, 3B y 4B, respectivamente.

Tabla 2: Tabla de válvulas de apertura/cierre para el sistema de siete recipientes en la FIG. 1A usando el ciclo de PSA en la FIG. 1B con tres ecualizaciones de presión. Cualquier válvula no enumerada anteriormente en una etapa se cierra durante esa etapa.

Etapas del Recipiente	1	2	3	4	5	6	7
1	12, 15	25	34	44	53	61, 63	71, 73
2	15	22	34	45	51, 53	64	71, 73
3	14	22, 25	33	45	51, 53	64	71, 73
4	14	25	31, 33	42	51, 53	65	74
5	13	24	31, 33	42, 45	51, 53	65	74
6	11, 13	24	31, 33	45	54	62	75
7	11, 13	23	31, 33	44	54	62, 65	75
8	11, 13	21, 23	34	44	55	65	72
9	11, 13	21, 23	34	43	55	64	72, 75
10	14	21, 23	35	41, 43	52	64	75
11	14	21, 23	35	41, 43	52, 55	63	74
12	15	24	32	41, 43	55	61, 63	74
13	15	24	32, 35	41, 43	54	61, 63	73
14	12	25	35	44	54	61, 63	71, 73

Tabla 3: Tabla de válvulas de apertura/cierre para el sistema de ocho recipientes en la FIG. 2A usando el ciclo de PSA en la FIG. 2B con tres ecualizaciones de presión. Cualquier válvula no enumerada anteriormente en una etapa se cierra durante esa etapa.

ES 2 833 073 T3

Etapas del Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
1	12, 15	25	34	44	53	61, 63	71, 73	81, 83
2	15	22	34	45	51, 53	64	71, 73	81, 83
3	14	22, 25	33	45	51, 53	64	71, 73	81, 83
4	14	25	31, 33	42	51, 53	65	71, 73	84
5	13	24	31, 33	42, 45	51, 53	65	71, 73	84
6	11, 13	24	31, 33	45	51, 53	62	74	85
7	11, 13	23	31, 33	44	51, 53	62, 65	74	85
8	11, 13	21, 23	31, 33	44	54	65	75	82
9	11, 13	21, 23	31, 33	43	54	64	75	82, 85
10	11, 13	21, 23	34	41, 43	55	64	72	85
11	11, 13	21, 23	34	41, 43	55	63	72, 75	84
12	14	21, 23	35	41, 43	52	61, 63	75	84
13	14	21, 23	35	41, 43	52, 55	61, 63	74	83
14	15	24	32	41, 43	55	61, 63	74	81, 83
15	15	24	32, 35	41, 43	54	61, 63	73	81, 83
16	12	25	35	44	54	61, 63	71, 73	81, 83

Tabla 4: Tabla de válvulas de apertura/cierre para el sistema de nueve recipientes en la FIG. 3A usando el ciclo de PSA en la FIG. 3B con tres equalizaciones de presión. Cualquier válvula no enumerada anteriormente en una etapa se cierra durante esa etapa.

Etapas del Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	12, 15	25	34	44	53	61, 63	71, 73	81, 83	91, 93
2	15	22	34	45	51, 53	64	71, 73	81, 83	91, 93
3	14	22, 25	33	45	51, 53	64	71, 73	81, 83	91, 93
4	14	25	31, 33	42	51, 53	65	71, 73	84	91, 93
5	13	24	31, 33	42, 45	51, 53	65	71, 73	84	91, 93
6	11, 13	24	31, 33	45	51, 53	62	71, 73	85	94
7	11, 13	23	31, 33	44	51, 53	62, 65	71, 73	85	94
8	11, 13	21, 23	31, 33	44	51, 53	65	74	82	95
9	11, 13	21, 23	31, 33	43	51, 53	64	74	82, 85	95
10	11, 13	21, 23	31, 33	41, 43	54	64	75	85	92
11	11, 13	21, 23	31, 33	41, 43	54	63	75	84	92, 95
12	11, 13	21, 23	34	41, 43	55	61, 63	72	84	95
13	11, 13	21, 23	34	41, 43	55	61, 63	72, 75	83	94
14	14	21, 23	35	41, 43	52	61, 63	75	81, 83	94
15	14	21, 23	35	41, 43	52, 55	61, 63	74	81, 83	93
16	15	24	32	41, 43	55	61, 63	74	81, 83	91, 93
17	15	24	32, 35	41, 43	54	61, 63	73	81, 83	91, 93
18	12	25	35	44	54	61, 63	71, 73	81, 83	91, 93

Tabla 5: Tabla de válvulas de apertura/cierre para el sistema de diez recipientes en la FIG. 4A usando el ciclo de PSA en la FIG. 4B con tres ecualizaciones de presión. Cualquier válvula no enumerada anteriormente en una etapa se cierra durante esa etapa.

Etapas del Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12, 15	25	34	44	53	61, 63	71, 73	81, 83	91, 93	101, 103
2	15	22	34	45	51, 53	64	71, 73	81, 83	91, 93	101, 103
3	14	22, 25	33	45	51, 53	64	71, 73	81, 83	91, 93	101, 103
4	14	25	31, 33	42	51, 53	65	71, 73	84	91, 93	101, 103
5	13	24	31, 33	42, 45	51, 53	65	71, 73	84	91, 93	101, 103
6	11, 13	24	31, 33	45	51, 53	62	71, 73	85	91, 93	104
7	11, 13	23	31, 33	44	51, 53	62, 65	71, 73	85	91, 93	104
8	11, 13	21, 23	31, 33	44	51, 53	65	71, 73	82	94	105
9	11, 13	21, 23	31, 33	43	51, 53	64	71, 73	82, 85	94	105
10	11, 13	21, 23	31, 33	41, 43	51, 53	64	74	85	95	102
11	11, 13	21, 23	31, 33	41, 43	51, 53	63	74	84	95	102, 105
12	11, 13	21, 23	31, 35	41, 43	54	61, 63	75	84	92	105
13	11, 13	21, 23	31, 33	41, 43	54	61, 63	75	83	92, 95	104
14	11, 13	21, 23	34	41, 43	55	61, 63	72	81, 83	95	104
15	11, 13	21, 23	34	41, 43	55	61, 63	72, 75	81, 83	94	103
16	14	21, 23	35	41, 43	52	61, 63	75	81, 83	94	101, 103
17	14	21, 23	35	41, 43	52, 55	61, 63	74	81, 83	93	101, 103
18	15	24	32	41, 43	55	61, 63	74	81, 83	91, 93	101, 103
19	15	24	32, 35	41, 43	54	61, 63	73	81, 83	91, 93	101, 103
20	12	25	35	44	54	61, 63	71, 73	81, 83	91, 93	101, 103

5

[0030] En las FIGS. 1B, 2B, 3B y 4B, "Recv PE 1", "Recv PE 2" y "Recv PE 3" denotan la primera, segunda y tercera etapas de recibir gas de ecualización de presión, respectivamente; "Prov PE 1", "Prov PE 2" y "Prov PE 3" denotan la primera, segunda y tercera etapas de proporcionar gas de ecualización de presión, respectivamente; "Recibir PG" denota una etapa de purga de recepción; "Proporcionar PG" denota una etapa de purga de suministro; "Descarga (blowdown)" denota despresurización a la presión más baja del sistema; y "Adsorción" denota una etapa en la que el recipiente está a alta presión y preferentemente produce gas de producto enriquecido. Tenga en cuenta que la presente invención se puede implementar en una variedad de configuraciones de ciclo de PSA diferentes, por ejemplo, se pueden utilizar cualquier variación en la cantidad de ecualizaciones de presión, iniciando un período de alimentación o represurización del producto durante la etapa de "Prensa Final", o cualquier otra variante alrededor de las etapas de acoplamiento de purga conocidas por los expertos en la materia.

10

15

[0031] Otra ventaja del aspecto actual de la invención es la capacidad de tener más recipientes abiertos al canal de alimentación para un modesto aumento en la cantidad total de recipientes dentro del sistema. Al escalar hasta una mayor capacidad, a menudo el diámetro de cada recipiente debe aumentarse para manejar el mayor
 5 rendimiento de gas que ingresa al canal de alimentación. Además del aumento de costos asociado con la fabricación de recipientes de mayor diámetro, los procedimientos tradicionales utilizados para mantener el adsorbente hacia abajo dentro del recipiente con el fin de evitar la fluidización se vuelven difíciles y puede ocurrir el desgaste posterior de las pastillas durante la operación de PSA.

10 **[0032]** Un novedoso procedimiento de escala descrito en la Patente EE. UU. N.º 6.918.953 a Lomax y col. indica que la capacidad de PSA puede aumentarse mediante la adición de módulos de PSA adicionales al sistema. El concepto detrás de este diseño modular es que un único módulo de PSA que contiene un número específico de recipientes (tal como un módulo de PSA de siete recipientes) puede procesar un cierto volumen de gas en el límite operativo superior para una pureza particular. El diámetro de cada recipiente dentro de un único módulo de PSA es lo
 15 suficientemente pequeño como para garantizar que no se produzca la fluidización y canalización del recipiente, que puede surgir en recipientes de mayor diámetro como resultado de la carga y asentamiento desigual de adsorbente. Aumentar el rendimiento más allá del módulo de PSA único requiere la adición de más módulos de PSA, aumentando así el volumen de adsorbente disponible para invocar la separación de PSA deseada sin cambiar las condiciones operativas presentes dentro de cada recipiente. Por ejemplo, un aumento de dos veces en el volumen de gas que
 20 puede tratarse mediante un único módulo de PSA requiere la adición de un segundo módulo de PSA. La adición del segundo módulo significa que el doble del volumen de gas de alimentación se divide entre el doble del número de recipientes (por ejemplo, un aumento de siete recipientes a 14 recipientes) abiertos en cualquier momento durante el ciclo para que las condiciones específicas presentes dentro de cualquier recipiente no cambien.

25 **[0033]** La realización ejemplar en la Patente EE. UU. N.º 6.918.953 muestra que cada módulo de PSA tiene dos recipientes abiertos al gas de alimentación en cualquier punto durante el ciclo, mientras que los otros cinco recipientes están experimentando varias etapas de regeneración, tales como ecualización de presión, purga o descarga. Sin embargo, la aplicación del diseño modular significa que la duplicación de la capacidad de PSA requiere que se agregue un módulo adicional de PSA de siete recipientes al sistema, duplicando así el inventario de adsorbente,
 30 el número de recipientes a presión y los accesorios asociados en el sistema de PSA. La adición del segundo módulo también introduce un nivel adicional de complejidad al agregar treinta y cinco válvulas junto con sus líneas neumáticas asociadas.

[0034] A diferencia de la escala anterior mediante la adición de módulos adicionales, la presente invención
 35 enseña que si, por ejemplo, un módulo de PSA de siete recipientes individuales se extendiera a un único módulo de PSA de nueve recipientes (por ejemplo, al extender las secciones de cabezal superior e inferior para permitir dos recipientes adicionales), entonces cuatro recipientes ahora están ventajosamente abiertos a la corriente de alimentación en cualquier punto durante el ciclo, como se puede ver al revisar la FIG. 3B. Por ejemplo, en la etapa 1, la FIG. 3B y la Tabla 4 indican que las válvulas 61, 71, 81 y 91 están abiertas, conectando así los recipientes 6, 7, 8 y
 40 9, respectivamente, al canal de alimentación 110 (ver la FIG. 3A). Por lo tanto, al agregar solo dos recipientes (recipientes 8 y 9) y las diez válvulas adicionales correspondientes al sistema, la presente invención ha mantenido el mismo volumen de gas que se procesa por recipiente, sin introducir todo un segundo módulo de PSA que tiene siete recipientes adicionales y treinta y cinco válvulas adicionales según lo requerido por la enseñanza de la técnica relacionada. En comparación con la enseñanza de la técnica relacionada de agregar un segundo módulo que da como
 45 resultado un total de catorce recipientes, la presente invención ha reducido el inventario de adsorbente en un 36% al disminuir el número total de recipientes de catorce a nueve. Además, la cantidad total de sensores de presión en la presente invención es de solo tres, mientras que el sistema de la técnica relacionada requeriría catorce sensores. Además, la reducción en el número total de recipientes a presión también reduce los costos de fabricación y montaje, además del número de recipientes a presión que requieren la aprobación de ASME.

50 **[0035]** La regla de escala anterior de la presente invención tiene la ventaja de reducir la complejidad al reducir el número de válvulas de apertura/cierre en el sistema, reducir el volumen de adsorbente en el sistema, reducir el número de recipientes a presión en el sistema y reducir el número de accesorios externos requeridos en el sistema, en comparación con los sistemas de la técnica relacionados. La capacidad adicional de la presente invención para
 55 incluir recipientes en la disposición de colector usando el procedimiento de acoplamiento de purga, además de la capacidad de la presente invención para monitorear pulsos de presión en cada canal, en lugar de monitorear perfiles de presión de recipiente individuales como en la técnica relacionada, permite que la presente invención minimice el potencial de desequilibrio en el sistema causado por diferentes distancias de canal de purga entre recipientes o una falla de válvula.

60 **[0036]** Al revisar las trazas de presión de los colectores de flujo paralelo que tienen canales 130, 140 y 150 que se muestran en las FIGS. 1C, 2C, 3C y 4C, es evidente que el dispositivo de medición de presión del canal de purga M3 (por ejemplo, transductor de presión) muestra la presión mínima lograda durante la despresurización y purga de cada recipiente de PSA. Si el módulo o módulos de PSA están conectados a un cabezal simple o a un tanque de
 65 amortiguación, es deseable que la presión mínima alcanzada en la despresurización de cada recipiente sea igual. De

lo contrario, el grado en que las especies de impurezas adsorbidas son desadsorbidas y purgadas variará. Mediante el uso de la presión mínima alcanzada en el transductor del cabezal de purga como un indicador para la presión en el cabezal acoplado y/o el tanque amortiguador, se puede eliminar el uso de un transductor de presión separado.

5 **[0037]** Si se utiliza un transductor separado en el cabezal/recipiente de purga o si se utiliza un transductor de canal de purga, la presión en este cabezal se puede modular mediante el uso de una válvula de dosificación que mide la descarga desde el cabezal. Dicha válvula se puede modular para proporcionar una presión media, máxima o mínima constante en el cabezal de purga, lo que resulta en una oscilación estable. Esta válvula dosificadora se proporciona ventajosamente con una válvula reguladora de presión mecánica aguas arriba de la entrada de la válvula dosificadora, de modo que la presión en la entrada de la válvula dosificadora es esencialmente constante. Esto permite minimizar las variaciones en el caudal instantáneo a través de la válvula, mientras que la modulación de la válvula dosificadora mantiene el caudal medio a través de la válvula a un valor constante por su respuesta a la señal de entrada de presión.

15 **[0038]** Una ventaja en la aplicación de esta estrategia de control junto con la técnica de medición de presión de la presente invención surge cuando el sistema de PSA 300 se utiliza como un medio para controlar un componente particular de un sistema generador de hidrógeno. Una reducción en la complejidad surge dentro del sistema generador de hidrógeno cuando la presión medida dentro del canal de purga (por ejemplo, usando el dispositivo de medición de presión del canal de purga M3) se acopla a un controlador C de derivado integral proporcional (PID) a través del cable 126 que regula un volumen de gas liberado desde un tanque de gas residual 122 conectado al canal de gas residual 120. El tanque de gas residual 122 tiene un tamaño tal que se puede retirar un flujo relativamente constante de gas del sistema de PSA 300 para eliminar la naturaleza pulsante del flujo que ocurre en intervalos de tiempo discretos asociados con la descarga y purga, mientras que, al mismo tiempo, se minimiza cualquier contrapresión impuesta al sistema de PSA 300 cuando el recipiente de purga de recepción está abierto al tanque de gas residual 122 a través del canal de gas residual 120. Típicamente, el gas que sale del tanque 122 se recicla a un quemador 128 a través de la línea 124 para ser utilizado como combustible para calentar un reactor 200 del sistema generador de hidrógeno.

[0039] El propósito del controlador PID C es regular el volumen de gas retirado del tanque de gas residual 122 de modo que el recipiente que se somete a la etapa de purga de recepción (es decir, "Recibir PG") permanezca a la baja presión deseada. En sistemas de la técnica relacionados, debido a la naturaleza pulsante del flujo que sale del PSA, se proporciona un transductor (mostrado en líneas fantasma y etiquetado como 123 en la FIG. 5) en el tanque de gas residual 122 y se utiliza un promedio de la presión registrada por ese transductor durante la descarga y purga como la variable controlada por PID mediante la cual se realizan ajustes para controlar una válvula proporcional 125 en la línea 124. La presente invención permite ventajosamente la eliminación del transductor 123 (representado así en líneas fantasma) y el control de la válvula proporcional 125 usando el controlador PID C en función de la presión más baja lograda en el canal de purga 150 según lo medido por el dispositivo de medición de presión M3. La eliminación del transductor 123 resulta en una reducción en la complejidad del sistema generador de hidrógeno. La reducción del número total de transductores de presión en el sistema generador de hidrógeno en uno reduce la complejidad sin afectar el funcionamiento o la controlabilidad del sistema generador de hidrógeno.

40 **[0040]** Una ventaja adicional de la técnica de medición de presión de la presente invención surge cuando la medición de presión en el canal de producto 130 (por ejemplo, usando el dispositivo de medición de presión del canal de producto (M1)) se integra con otros componentes del sistema generador de hidrógeno. En sistemas de la técnica relacionados, un transductor de presión adicional (mostrado en líneas fantasma y etiquetado como 112 en la FIG. 6) se ubica después del sistema de reactor 200 y se usa para monitorear la caída de presión sobre el reactor 200 en función de una diferencia de presiones entre una ubicación aguas arriba del sistema de reactor 200 medida usando un transductor de presión 114 y la presión aguas abajo del sistema del reactor 200 medida usando el transductor de presión 112. Si un tubo del reactor se bloquease (es decir, debido al coquizado en condiciones de funcionamiento anormales), la diferencia de presión medida por el transductor de presión 114 y la presión medida por el transductor de presión 112 aumentarían significativamente e indicarían un problema con el paso del gas a través del reactor. Transductor de presión 112 ubicado después de que el reactor está expuesto a un ambiente caliente y húmedo. Durante el funcionamiento normal, este gas está a una temperatura cercana a 300°C, lo que puede provocar altas tensiones térmicas en componentes internos sensibles del transductor de presión. Después del cierre, el agua puede quedar atrapada contra el diafragma de un transductor de presión que está expuesto al gas de procedimiento. Si las temperaturas ambiente caen por debajo de la congelación, esta agua se congelará y se expandirá formando hielo que puede dañar los componentes sensibles conectados al diafragma dentro del transductor de presión.

[0041] La presente invención proporciona una solución única a estos problemas con los sistemas de la técnica relacionados. Dado que la mayor parte de la caída de presión ocurre sobre el reactor y que la caída de presión asociada a través del condensador y el recipiente de PSA es menor en comparación, la presente invención permite la eliminación del transductor de presión 112 (representado así en líneas fantasma) mediante la realización del cálculo de la caída de presión del reactor basado en el promedio de la alta presión medida en el canal de producto 130 del cabezal de PSA. Esta configuración elimina la necesidad de un transductor de presión en línea después del reactor. Esta configuración resulta en una mejora en la confiabilidad operativa y una reducción en la complejidad del sistema generador de hidrógeno mediante el uso del transductor de presión del canal del producto M1 para monitorear la caída de presión del reactor.

[0042] Una ventaja adicional de la técnica de medición de presión descrita surge cuando el sistema de PSA debe iniciarse o cortarse utilizando una secuencia de apertura de válvula predefinida. En el inicio del funcionamiento, el transductor de presión del canal de producto M1 se puede usar para verificar que el sistema de PSA 300 pasa por la tasa deseada de aumento de presión con el tiempo para una cantidad seleccionada de recipientes que se abren al canal de producto 130. Si esta tasa de aumento es demasiado rápida o demasiado lenta en comparación con la tasa deseada de aumento de presión, es probable que se haya producido una falla de la válvula. De manera similar, si un número seleccionado de recipientes necesita ser igualado a alguna presión intermedia después de la etapa de llenado del producto, entonces el transductor de presión del canal de ecualización M2 puede usarse para verificar las válvulas de apertura/cierre requeridas abiertas y se logra el nivel de presión deseado. En el cierre, la secuencia de reducción de la presión del recipiente a la del canal de gas residual 120 se puede verificar a través de la secuencia de apertura de recipientes al canal de ecualización 140. Una vez que todos los recipientes se han igualado en presión al canal de gas residual 120, entonces se puede iniciar la purga a través del canal de producto 130 para eliminar las impurezas del espacio vacío alrededor del adsorbente en cada recipiente para cortar el sistema de PSA 300 en un estado limpio en preparación para el siguiente inicio de funcionamiento.

[0043] Cabe señalar que las realizaciones ejemplares representadas y descritas en esta invención establecen las realizaciones preferidas de la presente invención, y no pretenden limitar el alcance de las reivindicaciones en este documento de ninguna manera.

[0044] Muchas modificaciones y variaciones de la presente invención son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores. Por lo tanto, debe entenderse que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la invención puede ponerse en práctica de otra manera que como se describe específicamente en esta invención.

REIVINDICACIONES

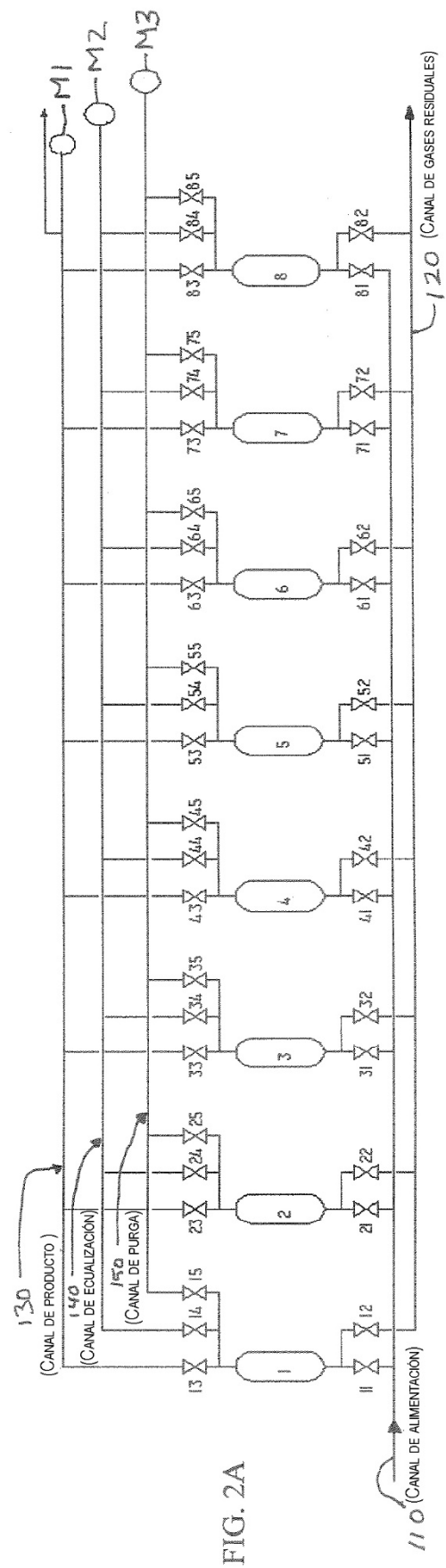
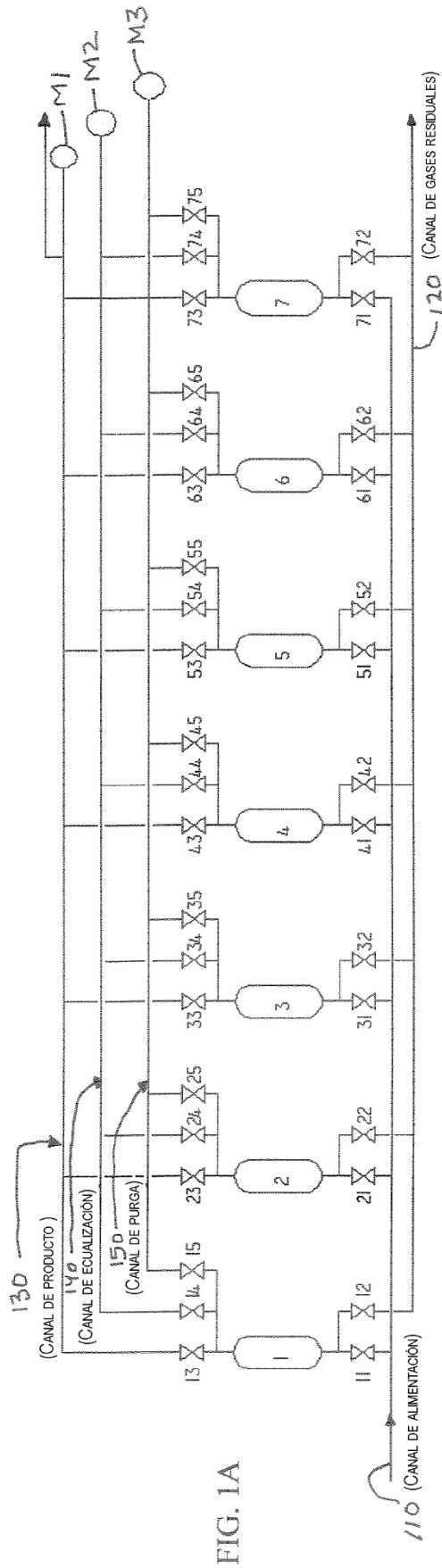
1. Un sistema de adsorción por oscilación de presión, PSA, que comprende:
 - 5 una pluralidad de recipientes (1-7) que tienen una o más capas de material adsorbente en estos; un canal de gas de alimentación (110) conectado a dicha pluralidad de recipientes a través de un primer conducto respectivo con una primera válvula; un canal de residuos (120) conectado a dicha pluralidad de recipientes a través de un segundo conducto respectivo con una segunda válvula;
 - 10 un canal de producto (130) conectado a dicha pluralidad de recipientes a través de un tercer conducto respectivo con una tercera válvula; un canal paralelo (140) conectado a dicha pluralidad de recipientes a través de un cuarto conducto respectivo con una cuarta válvula; un primer dispositivo de medición de presión (M2) configurado para medir una presión dentro de dicho canal paralelo; y
 - 15 un controlador configurado para monitorear la presión medida por dicho primer dispositivo de medición de presión durante un ciclo de PSA realizado dentro de dicho sistema de PSA, **caracterizado porque** comprende, además un segundo dispositivo de medición de presión (M1) configurado para medir una presión dentro de dicho canal de producto (130),
 - 20 donde dicho controlador está configurado para monitorear la presión medida por dicho segundo dispositivo de medición de presión durante el ciclo de PSA realizado dentro de dicho sistema de PSA, un canal de purga (150) conectado a dicha pluralidad de recipientes a través de un quinto conducto respectivo con una quinta válvula; y un tercer dispositivo de medición de presión (M3) configurado para medir una presión dentro de dicho canal de purga,
 - 25 donde dicho canal paralelo es un canal de ecualización, donde dicho controlador está configurado para monitorear la presión medida por dicho tercer dispositivo de medición de presión durante el ciclo de PSA realizado dentro de dicho sistema de PSA, y donde dicho controlador está configurado para monitorear el ciclo de PSA realizado dentro de dicho sistema de PSA utilizando solo (i) las presiones medidas por dicho primer dispositivo de medición de presión (M2), (ii) las presiones medidas por dicho primer dispositivo de medición de presión (M2) y dicho segundo dispositivo de medición de presión (M1), (iii) las presiones medidas por dicho primer dispositivo de medición de presión (M2) y dicho tercer dispositivo de medición de presión (M3), o (iv) las presiones medidas por dicho primer dispositivo de medición de presión (M2), dicho segundo dispositivo de medición de presión (M1) y dicho tercer dispositivo de medición de presión (M3).
 - 35
2. El sistema de PSA según la reivindicación 1, que comprende además un tanque de sobrecarga de residuos conectado a dicho canal de residuos.
- 40 3. El sistema de PSA según la reivindicación 2, donde dicho controlador está configurado para controlar una descarga de dicho tanque de sobrecarga de residuos utilizando la presión medida dentro de dicho canal de purga por dicho tercer dispositivo de medición de presión.
4. El sistema de PSA según la reivindicación 3, que comprende además un dispositivo de medición de presión configurado para medir la presión dentro de dicho tanque de sobrecarga de residuos, donde dicho controlador está configurado para controlar una descarga de dicho tanque de sobrecarga de residuos utilizando la presión medida dentro de dicho tanque de sobrecarga de residuos.
- 45 5. El sistema de PSA según la reivindicación 1, donde dicha pluralidad de recipientes incluye cuatro recipientes.
6. El sistema de PSA según la reivindicación 1, donde dicha pluralidad de recipientes incluye siete o más recipientes.
- 55 7. El sistema de PSA según la reivindicación 1, donde dicho primer dispositivo de medición de presión es un presostato.
8. El sistema de PSA según la reivindicación 1, donde dicho primer dispositivo de medición de presión es un transductor de presión.
- 60 9. Un procedimiento para monitorear un sistema de adsorción por oscilación de presión (PSA) que incluye una pluralidad de recipientes (1-7) que tienen una o más capas de material adsorbente en este, un canal de gas de alimentación (110) conectado a la pluralidad de recipientes a través de un primer conducto respectivo con una primera válvula, un canal de desechos (120) conectado a la pluralidad de recipientes a través de un segundo conducto respectivo con una segunda válvula, un canal de producto (130) conectado a la pluralidad de recipientes a través de
- 65

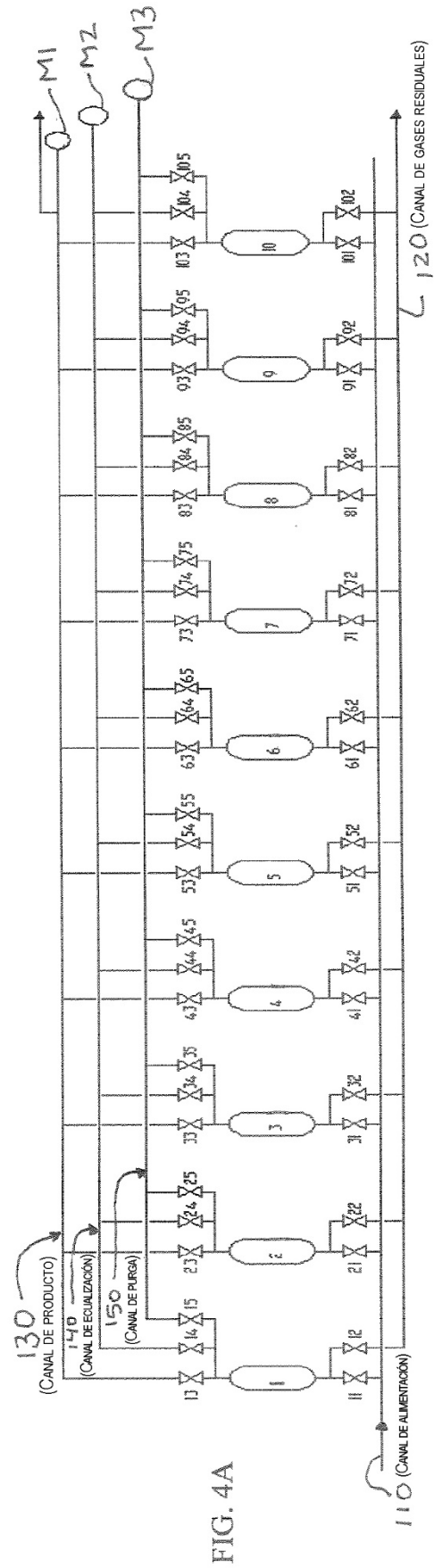
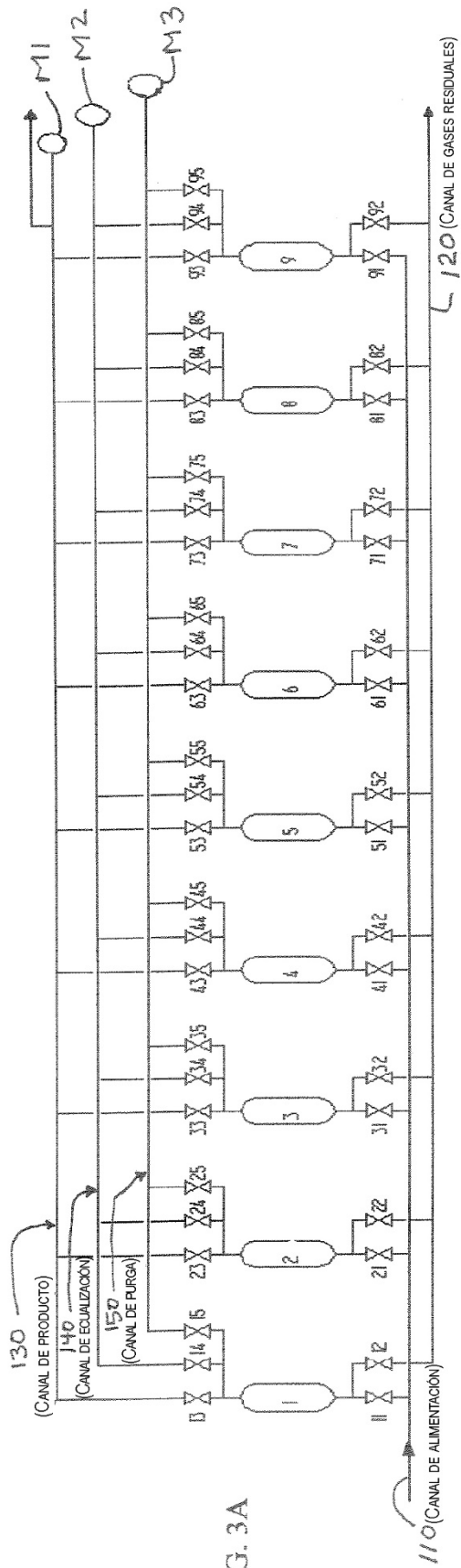
un tercer conducto respectivo con una tercera válvula, y un canal paralelo (140) conectado a la pluralidad de recipientes a través de un cuarto conducto respectivo con una cuarta válvula, comprendiendo dicho procedimiento:

- realizar un ciclo de PSA utilizando la pluralidad de recipientes;
- 5 medir una presión dentro de al menos el canal paralelo durante el ciclo de PSA; y
monitorear el rendimiento del ciclo de PSA utilizando la presión medida dentro del canal paralelo,
caracterizado porque comprende, además
medir una presión dentro del canal de producto durante el ciclo de PSA, donde el monitoreo del rendimiento del
ciclo de PSA incluye usar la presión medida dentro del canal de producto,
- 10 medir una presión dentro de un canal de purga del sistema de PSA durante el ciclo de PSA, donde el canal de
purga está conectado a la pluralidad de recipientes a través de un quinto conducto respectivo con una quinta
válvula,
donde el canal paralelo es un canal de ecualización,
donde el monitoreo del rendimiento del ciclo de PSA incluye usar la presión medida dentro del canal de purga, la
- 15 presión medida dentro del canal de ecualización y la presión medida dentro del canal de producto, y
donde el monitoreo del rendimiento del ciclo de PSA se realiza utilizando solo (i) las presiones medidas dentro del
canal de ecualización (140), (ii) las presiones medidas dentro del canal de ecualización (140) y las presiones
medidas dentro del canal de producto (130), (iii) las presiones medidas dentro del canal de ecualización (140) y
las presiones medidas dentro del canal de purga (150) o (iv) las presiones medidas dentro del canal de ecualización
- 20 (140), las presiones medidas dentro del canal de producto (130) y las presiones medidas dentro del canal de purga
(150).
10. El procedimiento según la reivindicación 9, donde el ciclo de PSA incluye una o más ecualizaciones de
presión.
- 25 11. El procedimiento según la reivindicación 9, que comprende además controlar una descarga desde un
tanque de sobrecarga de residuos conectado al canal de residuos mediante el uso de la presión medida dentro del
canal de purga.
- 30 12. El procedimiento según la reivindicación 9, que comprende además controlar una descarga desde un
tanque de sobrecarga de residuos conectado al canal de residuos mediante el uso de una presión medida dentro del
tanque de sobrecarga.
- 35 13. El procedimiento según la reivindicación 9, donde la pluralidad de recipientes incluye cuatro recipientes.
14. El procedimiento según la reivindicación 9, donde la pluralidad de recipientes incluye siete o más
recipientes.
15. El procedimiento según la reivindicación 9, donde se usa un presostato para realizar la medición de una
- 40 presión dentro del canal paralelo.
16. El procedimiento según la reivindicación 9, donde se utiliza un transductor de presión para realizar la
medición de una presión dentro del canal paralelo.
- 45 17. El procedimiento según la reivindicación 9, donde se determina una cantidad total de recipientes de la
pluralidad de recipientes utilizados para realizar el ciclo de PSA de modo que al menos cuatro recipientes de la
pluralidad de recipientes estén abiertos al canal de alimentación durante cada ciclo de PSA.
18. El procedimiento según la reivindicación 9, donde el monitoreo del rendimiento del ciclo de PSA incluye
- 50 monitorear si la presión medida dentro del canal paralelo se encuentra dentro de un intervalo predeterminado.
19. El procedimiento según la reivindicación 18, donde, si la presión medida dentro del canal paralelo está
fuera del intervalo predeterminado, entonces se alcanza una determinación de mal funcionamiento.
- 55 20. El procedimiento según la reivindicación 9, donde todas las etapas del ciclo de PSA están configuradas
para minimizar una distancia entre un recipiente de la pluralidad de recipientes que proporciona gas de purga y un
recipiente de la pluralidad de recipientes que recibe el gas de purga del primer recipiente.
21. El procedimiento según la reivindicación 20, la pluralidad de recipientes están alineados linealmente y
- 60 separados uniformemente entre sí, y donde todas las etapas del ciclo de PSA están configuradas de manera que el
recipiente de gas de purga de suministro y el recipiente de gas de purga de recepción no tienen más de un recipiente
entre ellos en cada etapa del ciclo de PSA.
22. El procedimiento según la reivindicación 9, donde, al inicio del sistema de PSA, la presión se mide en el
- 65 canal del producto y se utiliza una tasa real de aumento de presión en la presión medida en el canal del producto para

verificar que el sistema de PSA pasa por una tasa deseada de aumento de presión con el tiempo para una cantidad seleccionada de recipientes de la pluralidad de recipientes que abren el canal del producto durante una etapa.

23. El procedimiento según la reivindicación 22, donde, si la tasa real de aumento no es igual a la tasa
5 deseada de aumento, entonces se alcanza una determinación de mal funcionamiento.





	Etapla 1	Etapla 2	Etapla 3	Etapla 4	Etapla 5	Etapla 6	Etapla 7	Etapla 8	Etapla 9	Etapla 10	Etapla 11	Etapla 12	Etapla 13	Etapla 14
Recipiente 1	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final			Prov PE1	Prov PE2	Prov PE3	Proporcionar PG	Descarga
Recipiente 2	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1			Adorción	Prov PE3	Proporcionar PG	Prov PE1	Prov PE2	Prov PE3
Recipiente 3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final		Adorción			Prov PE1	Prop PE2	Prov PE3		Descarga	Recibir PG	Recv PE3
Recipiente 4	Prov PE2	Prov PE3	Proporcionar PG	Descarga		Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final		Adorción			Prov PE1
Recipiente 5	Presión Final							Prov PE3	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1
Recipiente 6	Adorción	Prov PE1	Prov PE2	Prov PE3	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final		Adorción	
Recipiente 7		Adorción		Prov PE1	Prov PE2	Prov PE3	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final	Adorción

FIG. 1B

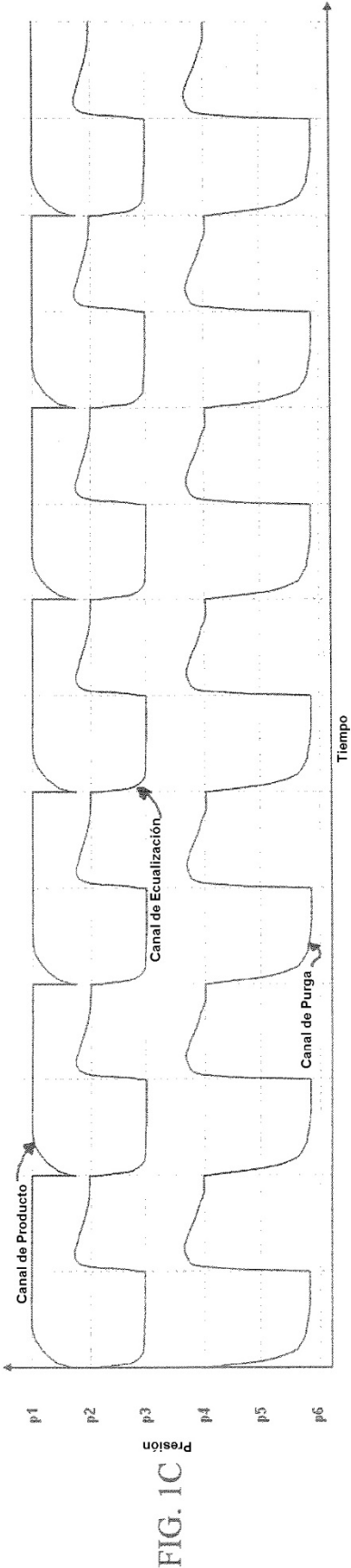


FIG. 1C

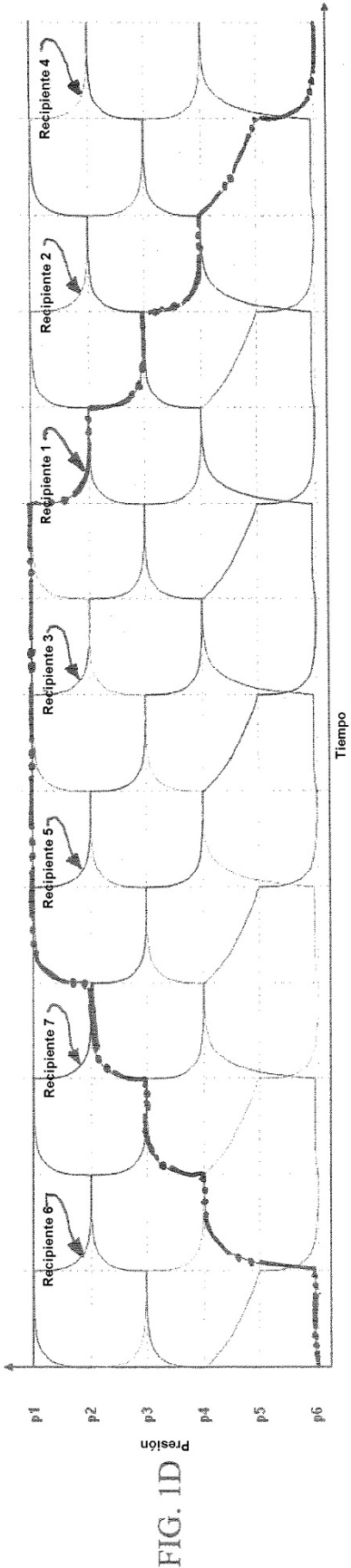


FIG. 1D

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9	Etapa 10	Etapa 11	Etapa 12	Etapa 13	Etapa 14	Etapa 15	Etapa 16
Recipiente 1	Recibir PG	Recv PE 3	Recv PE 2	Recv PE 1	Presión Final											
Recipiente 2	PoponaraPG	Descarga	Recibir PG	Recv PE 3	Recv PE 2	Recv PE 1	Presión Final									
Recipiente 3	Recv PE 2	Recv PE 1	Presión Final													
Recipiente 4	Prov PE 2	Prov PE 3	PoponaraPG	Descarga	Recibir PG	Recv PE 3	Recv PE 2	Recv PE 1	Presión Final							
Recipiente 5	Presión Final															
Recipiente 6	Adsorción	Prov PE 1	Prov PE 2	Prov PE 3	PoponaraPG	Descarga	Recibir PG	Recv PE 3	Recv PE 2	Recv PE 1	Presión Final					
Recipiente 7																
Recipiente 8																

FIG. 2B

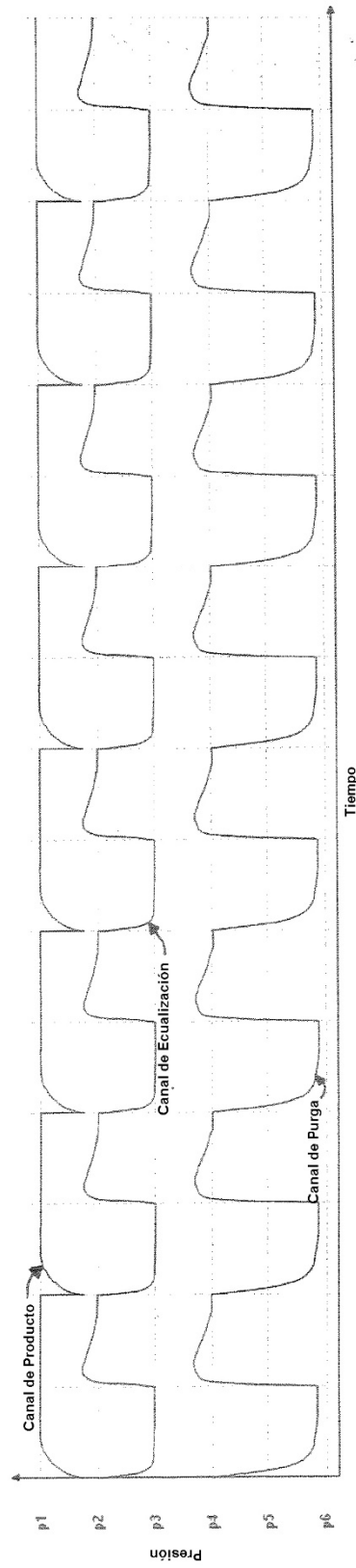


FIG. 2C

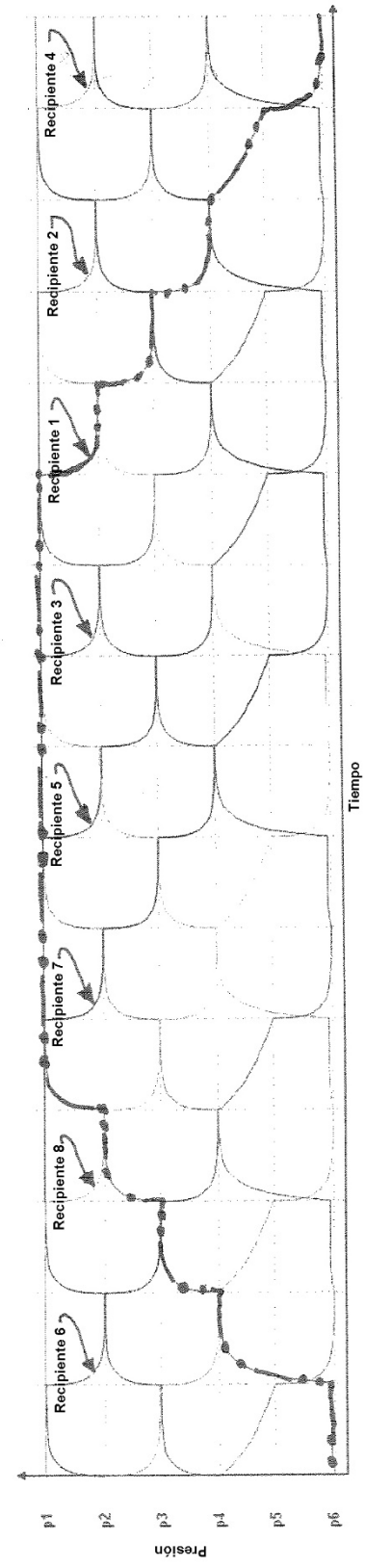


FIG. 2D

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6	Etap 7	Etap 8	Etap 9	Etap 10	Etap 11	Etap 12	Etap 13	Etap 14	Etap 15	Etap 16	Etap 17	Etap 18
Recipiente 1	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1
Recipiente 2	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1
Recipiente 3	Recv PE1	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1
Recipiente 4	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1
Recipiente 5	Presión Final	Recv PE1	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final
Recipiente 6	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1
Recipiente 7	Recv PE1	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1
Recipiente 8	Proporcionar PG	Descarga	Recibir PG	Recv PE3	Recv PE2	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1
Recipiente 9	Presión Final	Recv PE1	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final	Recv PE1	Presión Final

FIG. 3B

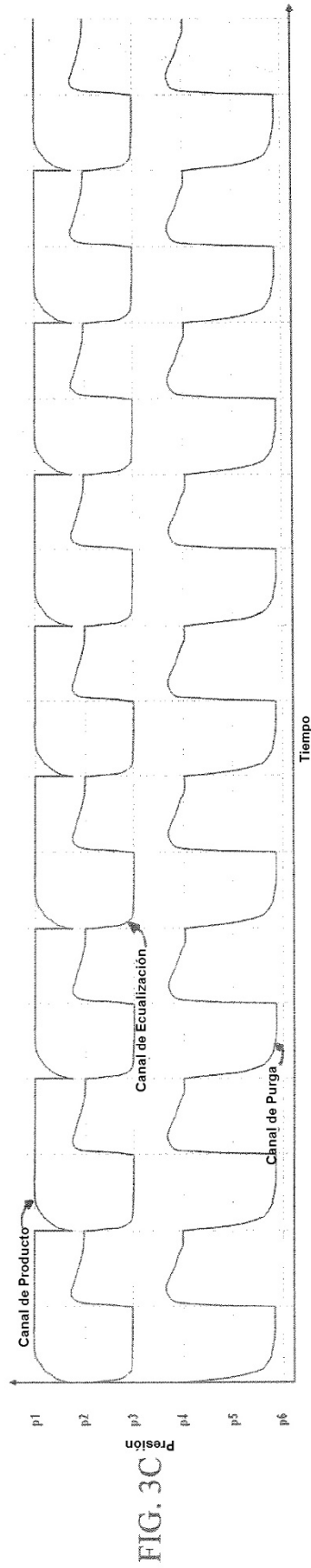


FIG. 3C

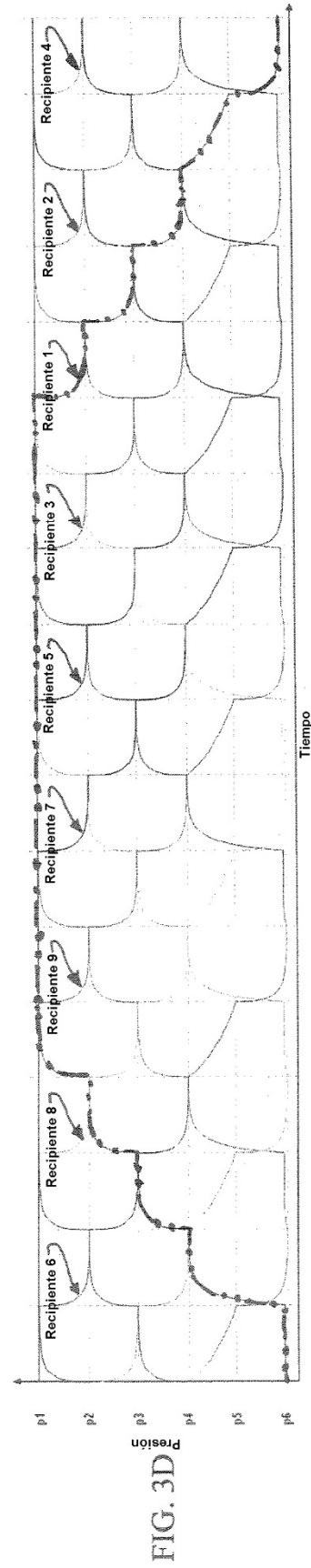


FIG. 3D

[illegible]

FIG. 4B

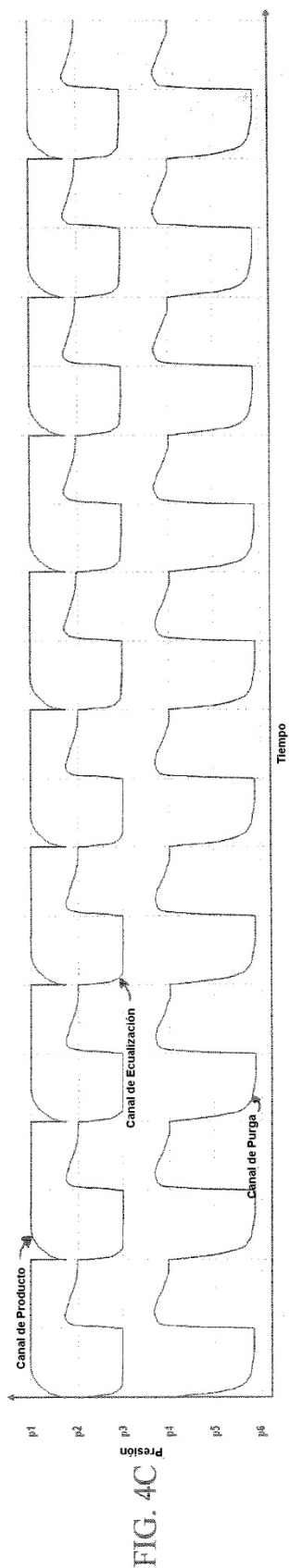


FIG. 4C

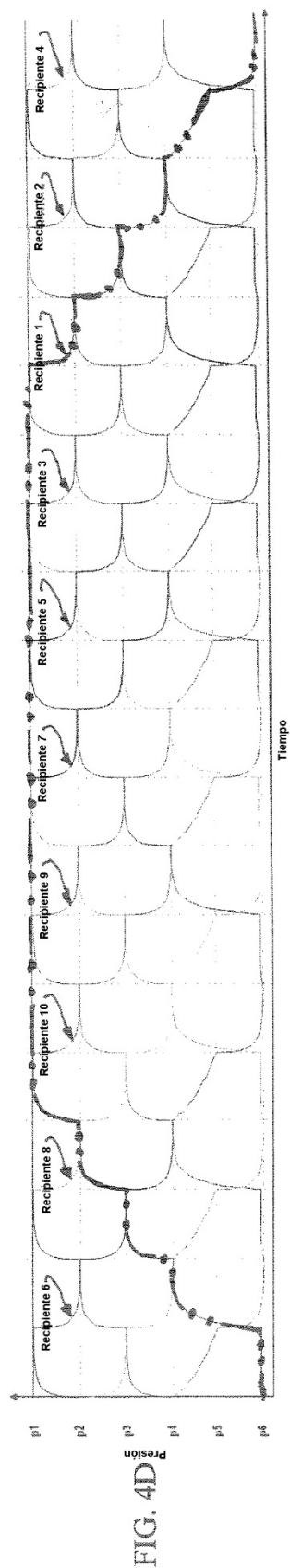


FIG. 4D

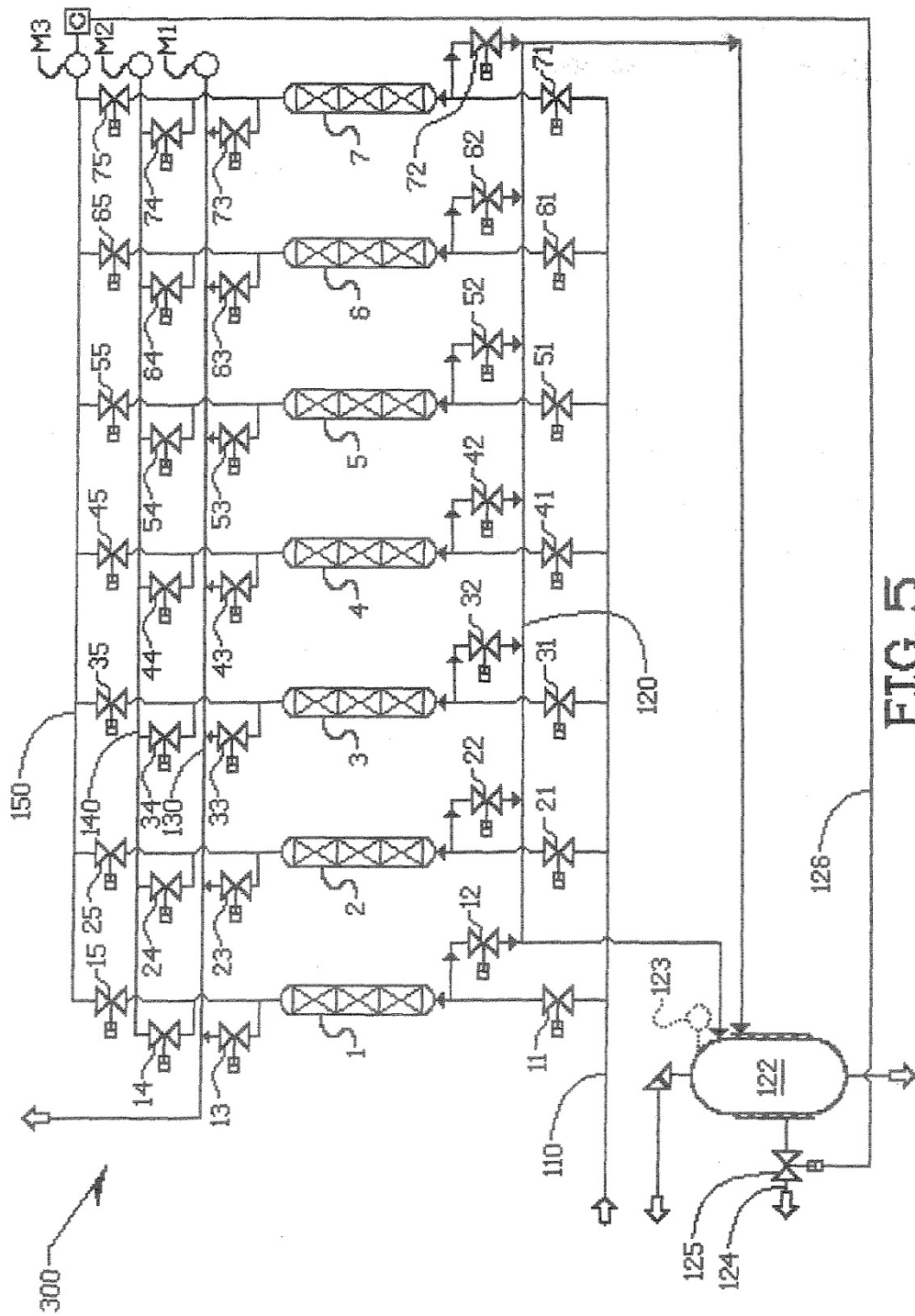


FIG. 5

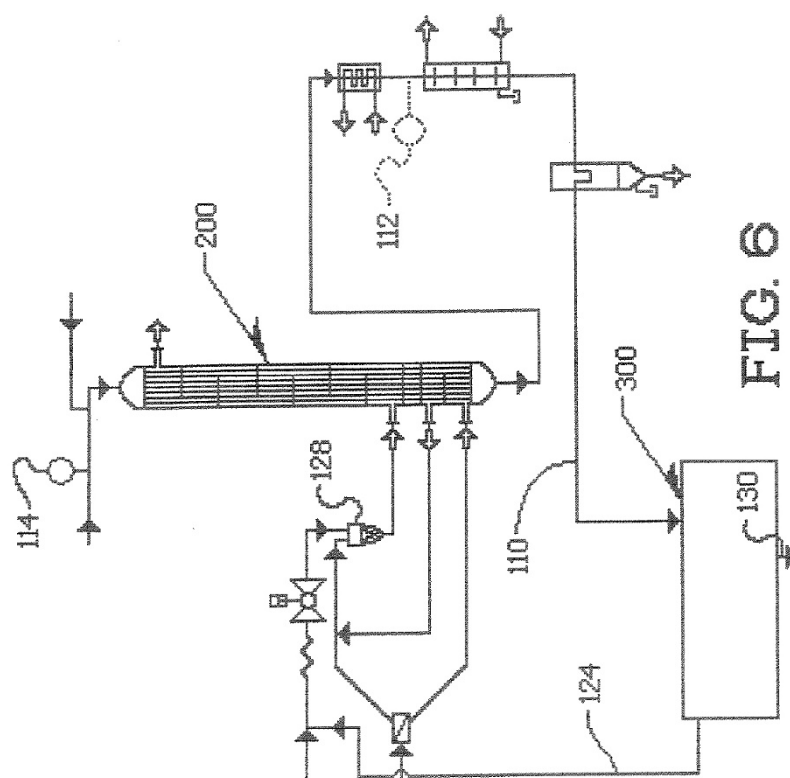


FIG. 6