



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 195**

51 Int. Cl.:
B01D 53/047 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07112589 .2**

96 Fecha de presentación : **17.07.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1880753**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.01.2008**

54 Título: **Método de adsorción por oscilación de presión y sistema con múltiples lechos de vaso.**

30 Prioridad: **20.07.2006 US 490003**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
26.08.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
26.08.2011

73 Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US

72 Inventor/es: **Lee, Sang Kook;**
Bukowski, Justin David;
Zelson, Carolyn Taylor y
Levine, Mark Ephraim

74 Agente: **Ungría López, Javier**

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

Método de adsorción por oscilación de presión y sistema con múltiples lechos de vaso

5 Antecedentes de la invención

La adsorción por oscilación de presión (AOP) es un método bien conocido para la separación de mezclas gaseosas de volumen a granel y para la purificación de corrientes de gas que contienen bajas concentraciones de componentes no deseables. El método se ha desarrollado y adaptado para una amplia variedad de gases de alimentación, condiciones de operación, pureza del producto y recuperación del producto. Muchos sistemas de adsorción por oscilación de presión utilizan dos o más lechos adsorbentes paralelos que funcionan en una secuencia cíclica con el fin de mantener una velocidad constante de flujo de producto mientras los lechos seleccionados se someten a varias etapas incluyendo adsorción/fabricación del producto, despresurización, evacuación, purga, ecualización de presión, represurización y otras etapas relacionadas. Son necesarios múltiples lechos adsorbentes que usan numerosas etapas de proceso para conseguir una elevada pureza y/o recuperación de productos gaseosos valiosos tales como hidrógeno, óxidos de carbono, gas de síntesis, hidrocarburos ligeros y similares. Los sistemas AOP con múltiples lechos que usan estas etapas de proceso también se aplican en la recuperación de oxígeno del aire para varias aplicaciones industriales y para concentradores portátiles de oxígeno médico.

El documento US 2006/01306521 A1 desvela montajes de adsorción por oscilación de presión con sistemas de control de purga y montajes de generación de oxígeno y/o sistemas de pilas de combustible que contienen los mismos. Los montajes de adsorción por oscilación de presión funcionan de acuerdo con un ciclo AOP para producir una corriente de producto de hidrógeno y una corriente de subproducto a partir de una corriente de gas mezclado.

El documento US 2003/167920 A1 desvela una planta que comprende una pluralidad de adsorbentes que funcionan de acuerdo con un ciclo con una pluralidad de tiempos de fase.

El documento US 2004/0055465 A1 desvela un método que consiste en usar solamente dos adsorbentes que siguen cada uno un ciclo con cambio de fase sucesivamente que consiste en una fase de adsorción, a alta presión del ciclo y una fase de regeneración, acabando en la represurización del adsorbente.

El documento 4.761.165 desvela un método y un aparato para controlar automáticamente la represurización del producto en un proceso de adsorción por oscilación de presión.

El documento EP 1 393 795 A2 desvela un sistema concentrador de oxígeno con compensación de altitud, que incluye al menos un subsistema concentrador de oxígeno y un subsistema de cámara de sobrepresión.

La selección y el diseño apropiados de los vasos adsorbentes y lechos es un factor importante para minimizar costes de capital y maximizar la eficiencia operativa de sistemas AOP. En la técnica se han usado varios tipos de diseños para efectuar un contacto apropiado gas-adsorbente durante las etapas del proceso, y la mayoría están diseñados para su instalación dentro de los vasos cilíndricos de presión. Los adsorbentes granulares se usan ampliamente y pueden instalarse dentro de vasos cilíndricos de presión en los que el gas fluye en la dirección axial o en lechos anulares en los que el gas fluye en la dirección radial. Se han usado varios métodos para mantener los lechos del adsorbente granular en configuraciones de flujo axial o radial.

Existe una necesidad continua en la técnica de separación de gas adsorbente de diseños de vasos que maximicen la cantidad de trabajo de fabricación realizado en el taller y minimicen la cantidad de trabajo de fabricación y montaje requerido durante la instalación en campo. Esto requiere vasos adsorbentes que pueden transportarse de manera segura de forma casi completa, preferentemente en los que los vasos se envasan con adsorbente en el taller. También existe la necesidad de diseños de lechos que minimicen el volumen vacío (es decir, el volumen vacío no ocupado por adsorbente) dentro de los vasos adsorbentes. Además, se desea usar diseños adsorbentes y métodos de fabricación que aseguren sustancialmente una actuación idéntica de cada lecho adsorbente en el funcionamiento de sistemas AOP con múltiples lechos. Además, existe la necesidad de diseños y métodos operativos mejorados para grandes plantas AOP con índices de producción de gas mayores que la capacidad de sistemas con un único tren que usan vasos adsorbentes que tienen el máximo diámetro transportable.

Las realizaciones de la invención descritas a continuación y definidas por las reivindicaciones que siguen están dirigidas a estas necesidades.

60 Resumen de la invención

La invención está dirigida a un proceso de adsorción por oscilación de presión para la separación de una mezcla de gas de alimentación que contiene dos o más componentes, comprendiendo el proceso

(a) proporcionar un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende uno o más lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente dispuesto en dos o más vasos en

configuración de flujo paralelo, teniendo cada vaso un extremo de alimentación y un extremo de producto;

(b) realizar las etapas secuenciales cíclicas que comprenden

5 (b1) introducir la mezcla del gas de alimentación en los extremos de alimentación de dos o más vasos del lecho compuesto y retirar el gas del producto de los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto,

10 (b2) retirar el gas a presión decreciente de los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto,

(b3) purgar el lecho compuesto introduciendo gas de purga en los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto y retirar el gas efluente de purga de los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto, e

15 (b4) introducir gas en los extremos de producto y/o extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto a presión creciente; y

20 (c) para cualquiera de las etapas secuenciales, establecer una velocidad de flujo o velocidades de flujo de uno o más gases seleccionados del grupo consistente en:

(c1) gas introducido en el extremo o extremos de alimentación de cualquiera de los dos o más vasos,

25 (c2) gas introducido en el extremo o extremos de producto de cualquiera de los dos o más vasos,

(c3) gas retirado del extremo o extremos de alimentación de cualquiera de los dos o más vasos, y

(c4) gas retirado del extremo o extremos de producto de cualquiera de los dos o más vasos.

30 La velocidad de flujo o velocidades de flujo pueden establecerse para mantener los valores de los parámetros de control seleccionados para los dos o más vasos de manera que

35 (a) la diferencia absoluta entre los parámetros de control seleccionados para dos cualesquiera de los dos o más vasos es inferior a un valor predeterminado, o

(b) la diferencia absoluta entre los parámetros de control seleccionados de cada uno de los dos o más vasos del lecho compuesto y el promedio de los parámetros de control de cada uno de los dos o más vasos del lecho compuesto es inferior a un valor predeterminado,

40 en el que el parámetro de control para cada vaso se selecciona del grupo consistente en

(1) la concentración en tiempo medio de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;

45 (2) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;

(3) el tiempo medio de la concentración de un componente seleccionado en el gas efluente de purga del vaso;

(4) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas efluente de purga del vaso;

50 (5) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el espacio vacío del adsorbente en un punto seleccionado en el vaso;

(6) la presión diferencial entre dos puntos en el vaso en un tiempo seleccionado durante las etapas secuenciales;

55 (7) la temperatura mínima o máxima en un punto seleccionado en los vasos durante las etapas secuenciales; y

(8) la presión mínima o máxima en un punto seleccionado en el vaso durante las etapas secuenciales.

60 Otra realización que no está de acuerdo con la invención incluye un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende uno o más lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente y teniendo un extremo de alimentación del lecho compuesto y un extremo de producto de lecho compuesto, teniendo el uno o más lechos compuestos un colector de extremo de alimentación de lecho compuesto y un colector de extremo de producto de lecho compuesto, en el que cada uno del uno o más lechos compuestos comprende dos o más vasos dispuestos en configuración de flujo paralelo que tienen un colector de extremo de alimentación del vaso y un colector de extremo de producto del vaso, conteniendo cada vaso una parte del material adsorbente y teniendo

un extremo de alimentación del vaso y un extremo de producto del vaso, en el que el colector del extremo de alimentación del lecho compuesto de un lecho compuesto está adaptado para colocar el extremo de alimentación de ese lecho compuesto en comunicación fluida con los extremos de alimentación de los dos o más vasos por medio del colector del extremo de alimentación del vaso, en el que el colector del extremo de producto del lecho compuesto está adaptado para colocar el extremo de producto de ese lecho compuesto en comunicación fluida con los extremos de producto de los dos o más vasos por medio del respectivo colector del extremo de producto del vaso, y en el que

(a) cualquier colector de extremo de alimentación del vaso comprende uno o más dispositivos de restricción de flujo, estando cada dispositivo adaptado para establecer la velocidad de flujo de gas en el extremo de alimentación de un respectivo vaso y/o establecer la velocidad de flujo de gas retirado del extremo de alimentación del respectivo vaso, y/o

(b) cualquier colector de extremo de producto del vaso comprende uno o más dispositivos de restricción de flujo, estando cada dispositivo adaptado para establecer la velocidad de flujo de gas en el extremo de producto de un respectivo vaso y/o establecer la velocidad de flujo de gas retirado del extremo de producto del respectivo vaso.

Cualquiera del uno o más dispositivos de restricción de flujo puede seleccionarse del grupo consistente en orificios, válvulas ajustables, segmentos de tubo con diámetro reducido y válvulas de retención con parada ajustable.

Una realización adicional que no está de acuerdo con la invención es un sistema de adsorción por oscilación de presión que puede comprender dos lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente y teniendo un extremo de alimentación de lecho compuesto y un extremo de producto de lecho compuesto, teniendo cada lecho compuesto un colector de extremo de alimentación de lecho compuesto y un colector de extremo de producto de lecho compuesto, en el que cada lecho compuesto comprende de 2 a 20 vasos dispuestos en configuración de flujo paralelo que tienen un colector de extremo de alimentación del vaso y un colector de extremo de producto del vaso, conteniendo cada vaso una parte del material adsorbente y teniendo un extremo de alimentación de vaso y un extremo de producto de vaso, en el que el colector del extremo de alimentación del lecho compuesto de un lecho compuesto está adaptado para colocar el extremo de alimentación de ese lecho compuesto en comunicación fluida con los extremos de alimentación de los dos o más vasos por medio del colector del extremo de alimentación del vaso, en el que el colector del extremo de producto del lecho compuesto está adaptado para colocar el extremo de producto de ese lecho compuesto en comunicación fluida con los extremos de producto de los dos o más vasos por medio del respectivo colector del extremo de producto del vaso, y en el que cada colector del extremo de alimentación del vaso comprende un orificio y/o cada colector del extremo de producto del vaso comprende un orificio.

Una realización adicional puede incluir un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende

(a) uno o más lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente y teniendo un extremo de alimentación de lecho compuesto y un extremo de producto de lecho compuesto;

(b) un colector de extremo de alimentación de lecho compuesto adaptado para introducir gas en el extremo de alimentación de cada lecho compuesto y retirar gas del extremo de alimentación de cada lecho compuesto;

(c) un colector de extremo de producto de lecho compuesto adaptado para introducir gas en el extremo de producto de cada lecho compuesto y retirar gas del extremo de producto de cada lecho compuesto;

en el que cada uno del uno o más lechos compuestos comprende partes del material adsorbente dispuestos respectivamente en dos o más vasos en configuración de flujo paralelo, teniendo cada vaso un extremo de alimentación y un extremo de producto, en el que los dos o más vasos incluyen

(d) un colector de extremo de alimentación del vaso en comunicación fluida con el colector del extremo de alimentación del lecho compuesto y adaptado para dividir el flujo de gas en el extremo de alimentación de cada lecho compuesto en corrientes individuales de gas e introducir las corrientes individuales de gas en los dos o más vasos, respectivamente, y para retirar y combinar corrientes individuales de gas de dos o más vasos para proporcionar el flujo de gas del extremo de alimentación del lecho compuesto; y

(e) un colector de extremo de producto del vaso en comunicación fluida con el colector del extremo de producto del lecho compuesto y adaptado para dividir el flujo de gas en el extremo de producto de cada lecho compuesto en corrientes individuales de gas e introducir las corrientes individuales de gas en los dos o más vasos, respectivamente, y para retirar y combinar corrientes individuales de gas de dos o más vasos para proporcionar el flujo de gas del extremo de producto del lecho compuesto;

y en el que (i) el colector del extremo de alimentación del vaso comprende uno o más dispositivos de restricción de flujo, estando cada dispositivo adaptado para establecer una velocidad de flujo de gas al extremo de alimentación de un respectivo vaso y para establecer una velocidad de flujo de gas retirado desde el extremo de alimentación del

respectivo vaso, y/o (ii) el colector del extremo de producto del vaso comprende uno o más dispositivos de restricción de flujo, estando cada dispositivo adaptado para establecer una velocidad seleccionada de flujo de gas al extremo de producto de un respectivo vaso y para establecer una velocidad de flujo de gas retirado desde el extremo de producto del respectivo vaso.

5 Una realización adicional de la invención está relacionada con un proceso de adsorción por oscilación de presión para la separación de una mezcla de gas de alimentación que contiene dos o más componentes, en el que el proceso puede comprender

10 (a) proporcionar un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende uno o más lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente dispuesto en dos o más vasos en configuración paralela al flujo, teniendo cada vaso un extremo de alimentación y un extremo de producto;

15 (b) realizar las etapas secuenciales cíclicas que comprenden

(b1) introducir la mezcla del gas de alimentación en los extremos de alimentación de dos o más vasos de un lecho compuesto y retirar el gas del producto de los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto,

20 (b2) retirar el gas a presión decreciente desde los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto,

25 (b3) purgar el lecho compuesto introduciendo gas de purga en los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto y retirar el gas efluente de purga de los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto, e

(b4) introducir gas en los extremos de producto y/o extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto a presión creciente; y

30 (c) seleccionar un parámetro de control; y

(d) para cualquiera de las etapas secuenciales, establecer la velocidad de flujo o velocidades de flujo de uno o más gases seleccionados del grupo consistente en

35 (d1) gas introducido en el extremo o extremos de alimentación de cualquiera de los dos o más vasos,

(d2) gas introducido en el extremo o extremos de producto de cualquiera de los dos o más vasos,

40 (d3) gas retirado del extremo o extremos de alimentación de cualquiera de los dos o más vasos, y

(d4) gas retirado del extremo o extremos de producto de cualquiera de los dos o más vasos,

45 en el que la velocidad de flujo se establece o las velocidades de flujo se establecen para mantener los valores del parámetro de control para vasos seleccionado de los dos o más vasos de manera que la diferencia absoluta entre los valores de dos cualesquiera de los vasos seleccionados sea inferior a un valor predeterminado.

En relación con esta realización, se desvela un parámetro de control, que puede seleccionarse del grupo consistente en

50 (1) la concentración en tiempo medio de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;

(2) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;

55 (3) el tiempo medio de la concentración de un componente seleccionado en el gas efluente de purga del vaso;

(4) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas efluente de purga del vaso;

(5) la concentración máxima o mínima de un componente seleccionado en el espacio vacío del adsorbente en un punto seleccionado en el vaso;

60 (6) la presión diferencial entre dos puntos en el vaso en un tiempo seleccionado durante las etapas secuenciales;

(7) la temperatura mínima o máxima en un punto seleccionado en los vasos durante las etapas secuenciales; y

65 (8) la presión mínima o máxima en un punto seleccionado en el vaso durante las etapas secuenciales.

Otra realización adicional que no está de acuerdo con la invención puede incluir un proceso de adsorción por oscilación de presión para la separación de un gas de alimentación que contiene dos o más componentes, comprendiendo el proceso

- 5 (a) proporcionar un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende uno o más lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente dispuesto en dos o más vasos en paralelo a la configuración del flujo, teniendo cada vaso un extremo de alimentación y un extremo de producto;
 - 10 (b) realizar las etapas secuenciales cíclicas que comprenden
 - (b1) introducir gas de alimentación en los extremos de alimentación de dos o más vasos de un lecho compuesto y retirar el gas del producto de los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto,
 - 15 (b2) retirar el gas a presión decreciente desde los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto,
 - (b3) purgar el lecho compuesto introduciendo gas de purga en los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto y retirar el gas efluente de purga de los extremos de alimentación de los dos o
20 más vasos del lecho compuesto, e
 - (b4) introducir gas en los extremos de producto y/o extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto a presión creciente;
 - 25 (c) seleccionar un parámetro de control, una etapa secuencial específica, y una corriente de gas que entre a cualquier vaso y salga de cualquier vaso durante la etapa secuencial específica;
 - (d) determinar si el parámetro de control aumenta o disminuye cuando la velocidad de flujo aumenta para la corriente seleccionada de gas que entra al vaso o sale del vaso durante la etapa secuencial específica;
 - 30 (e) mientras se realizan los pasos secuenciales cíclicos, determinar el valor del parámetro de control para cada vaso y el valor medio del parámetro de control para todos los vasos del lecho compuesto; y
 - 35 (f) si el parámetro de control aumenta cuando la velocidad de flujo de la corriente de gas que entra o sale del vaso aumenta durante la etapa secuencial específica como se determina en (d) y si el valor del parámetro de control para el vaso seleccionado es superior al valor medio del parámetro de control para todos los vaso del lecho compuesto durante la etapa secuencial específica, disminuyendo la velocidad de flujo de gas que entra o sale del vaso seleccionado; o
 - 40 (g) si el parámetro de control aumenta cuando la velocidad de flujo de la corriente de gas que entra o sale del vaso aumenta durante la etapa secuencial específica como se determina en (d) y si el valor del parámetro de control para el vaso seleccionado es inferior al valor medio del parámetro de control para todos los vaso del lecho compuesto durante la etapa secuencial específica, aumentando la velocidad de flujo de gas que entra o sale del vaso seleccionado; o
 - 45 (h) si el parámetro de control disminuye cuando la velocidad de flujo de la corriente de gas que entra o sale del vaso aumenta durante la etapa secuencial específica como se determina en (d) y si el valor del parámetro de control para el vaso seleccionado es superior al valor medio del parámetro de control para todos los vaso del lecho compuesto durante la etapa secuencial específica, aumentando la velocidad de flujo de gas que entra o
50 sale del vaso seleccionado; o
 - (i) si el parámetro de control disminuye cuando la velocidad de flujo de la corriente de gas que entra o sale del vaso aumenta durante la etapa secuencial específica como se determina en (d) y si el valor del parámetro de control para el vaso seleccionado es inferior al valor medio del parámetro de control para todos los vaso del
55 lecho compuesto durante la etapa secuencial específica, disminuyendo la velocidad de flujo de gas que entra o sale del vaso seleccionado.
- En relación con esta realización, se desvela un parámetro de control, que puede seleccionarse del grupo consistente en
- 60 (1) la concentración en tiempo medio de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;
 - (2) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;
 - 65 (3) el tiempo medio de la concentración de un componente seleccionado en el gas efluente de purga del vaso;

(4) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas effluente de purga del vaso;

(5) la concentración máxima o mínima de un componente seleccionado en el espacio vacío del adsorbente en un punto seleccionado en el vaso;

(6) la presión diferencial entre dos puntos en el vaso en un tiempo seleccionado durante las etapas secuenciales;

(7) la temperatura mínima o máxima en un punto seleccionado en los vasos durante las etapas secuenciales; y

(8) la presión mínima o máxima en un punto seleccionado en el vaso durante las etapas secuenciales.

Breve descripción de varias vistas de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de adsorción por oscilación de presión ejemplar.

La Fig. 2 es una tabla de ciclo de un proceso que puede funcionar usando el sistema de la Fig. 1.

La Fig. 3 es un diagrama de flujo esquemático de un lecho con múltiples vasos para su uso en el sistema de la Fig. 1.

La Fig. 4 es un diagrama de flujo esquemático de otro lecho con múltiples vasos para su uso en el sistema de la Fig. 1.

La Fig. 5 es un diagrama de flujo esquemático de incluso otro lecho alternativo con múltiples vasos para su uso en el sistema de la Fig. 1.

La Fig. 6 es un diagrama de flujo esquemático de un lecho alternativo con múltiples vasos para su uso en el sistema de la Fig. 1.

Descripción detallada de la invención

Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende uno o más lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente dispuesto en dos o más vasos en configuración de flujo paralelo, teniendo cada vaso un extremo de alimentación y un extremo de producto. El sistema de adsorción por oscilación de presión que usa esta configuración puede funcionar de acuerdo con cualquier proceso cíclico AOP que incluye al menos las etapas de (1) introducir la mezcla de gas de alimentación en los extremos de alimentación de dos o más vasos de un lecho compuesto y retirar el gas de producto de los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto, (2) retirar el gas a presión decreciente de los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto, (3) purgar el lecho compuesto introduciendo gas de purga en los extremos del producto de los dos o más vasos del lecho compuesto y retirar el gas effluente de purga de los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto, y (4) introducir gas en los extremos de producto y/o extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto a presión creciente.

En la presente divulgación, el término "lecho" significa una masa de material adsorbente instalada en un único vaso en el que el gas se introduce y desde la cual el gas se retira durante múltiples etapas de un proceso cíclico AOP de acuerdo con los métodos conocidos en la técnica. El término "lecho compuesto" aquí se define como una masa total de material adsorbente que consiste en dos o más cantidades de material adsorbente contenidas respectivamente en dos o más vasos paralelos. La cantidad total de material adsorbente en el lecho compuesto es la suma de las cantidades de material adsorbente contenidas en los dos o más vasos paralelos. El material adsorbente en los dos o más vasos paralelos está sometido colectivamente a la entrada y salida de gas total del lecho compuesto durante las etapas del ciclo AOP de manera que el material adsorbente en cada vaso está sometido a la misma etapa de ciclo del proceso de la misma duración en un determinado periodo de tiempo. Por lo tanto, los vasos paralelos funcionan simultáneamente a lo largo de las etapas en el ciclo AOP.

El término "vaso" como aquí se usa es una estructura hueca que encierra un volumen interior que contiene material adsorbente y que tiene al menos una entrada de gas y al menos una salida de gas. Múltiples vasos están dispuestos en configuración de flujo paralelo en la que una corriente de gas de entrada está dividida en partes por un colector de entrada que dirige las partes a los respectivos vasos durante las etapas en un ciclo AOP. Las corrientes de gas de salida de cada vaso paralelo se combinan en una única corriente de gas de salida por un colector de salida. Un colector se define generalmente como un montaje con tubos en el que un único tubo se conecta en comunicación fluida con dos o más tubos. La corriente de gas de entrada pasa al lecho compuesto colectivamente formado por el material adsorbente en los vasos paralelos y la corriente de salida se retira del lecho compuesto colectivamente formado por el material adsorbente en los vasos paralelos.

La expresión “en comunicación fluida con” como se aplica a una primera y segunda región significa que el gas puede fluir desde la primera región a la segunda región y desde la segunda región a la primera región a través de tubos conectores y/o una región intermedia.

La expresión genérica “adsorción por oscilación de presión” (AOP) como aquí se usa se aplica a todos los sistemas de separación adsorbente que utilizan el efecto de presión sobre la capacidad adsorbente para separar mezclas de gas. La presión máxima es típicamente superatmosférica, y la presión mínima puede ser superatmosférica, atmosférica o subatmosférica. Cuando la presión mínima es subatmosférica y la presión máxima es superatmosférica, el sistema se describe típicamente como un sistema de adsorción por oscilación de presión de vacío (AOPV). Cuando la presión máxima es casi presión atmosférica y la presión mínima está por debajo de la presión atmosférica, el sistema se describe típicamente como un sistema de adsorción por oscilación de vacío (AOV).

Los artículos indefinidos “un”, “uno” y “una” como aquí se usan significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descritas en la especificación y las reivindicaciones. El uso de “un”, “uno” y “una” no limita el significado a una única característica a menos que se establezca tal límite específicamente. Los artículos definidos “el”, “la”, “los”, “las” que preceden nombres singulares o plurales o un sintagma nominal denotan una característica particular especificada o características particulares especificadas y pueden tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se usen. Los adjetivos “cualquier” o “cualquiera” significan uno, una, algunos, algunas, todos o todas indiscriminadamente de cuál sea la cantidad. Los términos “y/o” colocados entre una primera entidad y una segunda entidad significan uno de (1) la primera entidad, (2) la segunda entidad, y (3) la primera entidad y la segunda entidad.

Un lecho de material adsorbente contenido en un único vaso de un sistema convencional AOP puede sustituirse por un lecho compuesto que tenga dos o más partes más pequeñas del material adsorbente dispuestas respectivamente en múltiples vasos en varias realizaciones de la presente invención. Cada uno de los múltiples vasos del lecho compuesto puede tener un volumen menor y/o un diámetro menor que el único vaso. Los múltiples vasos pueden tener esencialmente el mismo tamaño y forma, o alternativamente pueden tener diferentes tamaños y/o formas si así se desea. Los múltiples vasos pueden contener esencialmente la misma cantidad de material adsorbente o pueden contener diferentes cantidades de material adsorbente. Los múltiples vasos del lecho compuesto funcionan en paralelo donde el flujo de gas al lecho compuesto se divide e introduce en los múltiples vasos y las corrientes de gas de los múltiples vasos se combinan para proporcionar el flujo total de gas del lecho compuesto. Cada uno de los múltiples vasos contiene una parte del adsorbente total contenido en el lecho compuesto donde la cantidad total de adsorbente en los múltiples vasos puede ser inferior, igual, o superior a la cantidad total de adsorbente en el lecho con un único vaso que se sustituyó por el lecho compuesto.

El uso de múltiples vasos paralelos que contienen partes de adsorbente que funcionan como un lecho compuesto tiene varias ventajas. Varios vasos con diámetro pequeño tendrán menos volumen total vacío que un único vaso con diámetro grande con un similar volumen adsorbente, grosor de capa adsorbente y forma de cabeza de vaso. Los vasos más pequeños pueden producirse en masa en el taller, transportarse más fácilmente que los vasos de diámetro grande y cargarse con adsorbente bajo un ambiente controlado antes del transporte al emplazamiento de instalación.

Las ventajas de sistemas AOP con lechos compuestos pueden estar equilibradas por los potenciales problemas operativos. Por ejemplo, cuando cada lecho compuesto comprende adsorbente dispuesto en múltiples vasos que son sustancialmente idénticos, la disposición de los tubos y la maquinaria puede provocar a diferencias en los flujos de gas a o desde vasos individuales. La actuación de cualquier vaso individual que contiene una parte del lecho compuesto de material adsorbente puede por lo tanto variar de la actuación de otros vasos, y la actuación global del lecho compuesto puede reducirse en relación al caso en el que todos los vasos tengan una idéntica actuación. Otro problema potencial es que las variaciones indeseables en la fabricación del vaso, calidad adsorbente y carga adsorbente pueden causar que la actuación de adsorción de los vasos individuales difiera, provocando de nuevo una actuación global más pobre. En otra posible perspectiva operativa, la actuación de adsorción sustancialmente equivalente de múltiples vasos en un lecho compuesto pueden cambiar con el tiempo de manera que la actuación de los vasos ya no sea equivalente.

En un sistema operativo AOP, puede ser necesario aumentar la capacidad de adsorción del sistema existente instalando vasos paralelos adicionales a uno o más lechos compuestos. Puede ser difícil o imposible hacer coincidir la actuación de adsorción del nuevo vaso o los nuevos vasos con la actuación de los vasos existentes de un lecho compuesto.

Para sistemas convencionales AOP con múltiples vasos en los que cada lecho de adsorbente está instalado en un único vaso, las diferencias entre la actuación de los lechos puede compensarse para métodos conocidos en la técnica. Estos métodos compensan la asimetría operativa que existe entre los lechos haciendo cambios en la duración de tiempo a la que cada lecho se somete en una etapa particular del ciclo, manipulando las válvulas de control para ajustar el flujo de gas a, desde o entre los lechos, o mediante otros métodos.

La técnica anterior no enseña métodos para operar un sistema AOP para compensar las diferencias de actuación entre múltiples vasos paralelos de un lecho compuesto donde cada vaso paralelo contiene material adsorbente y el material adsorbente total en los vasos paralelos funciona como un lecho compuesto en un proceso cíclico AOP.

5 Las realizaciones de la invención descrita más abajo están dirigidas a estos problemas estableciendo las velocidades de flujo de gas a y/o de cada vaso selectivamente para una o más de las etapas del proceso en el ciclo AOP. La actuación de cada vaso de un lecho compuesto puede volverse de este modo necesaria para maximizar la actuación del sistema AOP.

10 El uso de los lechos compuestos como aquí se describe puede aplicarse a cualquier sistema AOP operado de acuerdo con cualquier ciclo de proceso AOP para la separación de cualquier mezcla de gas. Las realizaciones de la invención pueden ilustrarse, por ejemplo, mediante la operación de un sistema AOV con lecho doble compuesto de la Fig. 1 para la recuperación de oxígeno de aire usando el ciclo del proceso de la Fig. 2 como se describe más abajo.

15 En un sistema convencional AOP, el material adsorbente está contenido en los lechos 10 y 12 con medios adecuados para introducir el aire de alimentación en la parte inferior o el extremo de alimentación de cada lecho compuesto y retirar el gas de producto desde la parte superior o el extremo de producto de cada lecho compuesto. Cada uno de los lechos 10 y 12 está contenido en un único vaso de presión por medios conocidos en la técnica. En la ilustración de una realización de la presente invención, cada uno de los lechos convencionales 10 y 12 se sustituye por cantidades separadas de material adsorbente dispuesto en dos o más respectivos vasos paralelos para formar un lecho compuesto como se describe con más detalle más abajo.

25 En la ilustración de una realización de la presente invención de acuerdo con la Fig. 1, el aire ambiente está comprimido en el soplador de aire de alimentación 13 y se envía al colector de alimentación 16. Durante la primera etapa del ciclo, la etapa de adsorción/fabricación del producto, la válvula 18 está abierta para admitir aire comprimido en el lecho compuesto 10 por medio de la línea 47. El aire pasa al lecho compuesto 10, donde se elimina la humedad en el aire en una primera capa de desecante tal como el tamiz molecular 13-X. El aire seco pasa a continuación a través de una capa de adsorbente selectivo de nitrógeno tal como el tamiz molecular LiLSX, donde el nitrógeno se adsorbe del aire. El gas del producto, ahora enriquecido con oxígeno, pasa a través de la línea 45 y la válvula 22 y al colector del producto 26. El producto fluye a través del tanque del tampón 28 y de ahí a un punto para su uso. El equipo adicional (no mostrado) puede incluirse después de la salida del tanque del tampón para control de flujo, análisis de producto u otros fines.

35 Durante la segunda etapa del ciclo, la etapa de adsorción/fabricación del producto/proporcionar purga, la válvula 30 también está abierta para permitir que una parte del gas del producto del lecho compuesto 10 fluya al lecho compuesto 12. Este gas actúa como un flujo de purga para el lecho compuesto 12, que a la vez se está evacuando a través de la válvula 36 y el colector 38 por medio del soplador de vacío 40. Después de algún tiempo, el adsorbente en el lecho compuesto 10 está cerca de su capacidad adsorbente de nitrógeno de manera que más alimentación de aire podría causar que el nitrógeno atravesara la corriente de producto de oxígeno. Durante la tercera etapa del ciclo, la etapa de proporcionar purga, las válvulas 18, 22 y 30 están cerradas y la válvula 32 está abierta para proporcionar un mayor flujo de gas para purgar el lecho compuesto 12. En este momento, el soplador de alimentación 14 puede estar parado hasta que se requiera para proporcionar aire de alimentación a uno de los lechos compuestos.

45 Durante la cuarta etapa del ciclo, la etapa de proporcionar transferencia de presión (algunas veces denominada la etapa de proporcionar ecualización de presión), la válvula 36 está cerrada y la válvula 34 está abierta para despresurizar el lecho compuesto 10 a través del soplador de vacío. El flujo de gas a través de la válvula 32 continúa hasta represurizar el lecho compuesto 12. Durante la quinta etapa del ciclo, la primera etapa de evacuación, la válvula 32 está cerrada y el lecho compuesto 10 se evacúa para eliminar el nitrógeno adsorbido. En la sexta etapa, la segunda etapa de evacuación, las posiciones de la válvula del lecho compuesto 10 no cambian. La sexta etapa se identifica por separado de la quinta etapa porque hay cambios en las posiciones de la válvula para el lecho compuesto 12. En la séptima etapa, la primera etapa de recibir la purga, la válvula 30 también está abierta para proporcionar gas de purga del lecho compuesto 12, que se está sometiendo a la segunda etapa del ciclo. En la octava etapa, la segunda etapa de recibir la purga, la válvula 30 está cerrada y la válvula 32 está abierta para proporcionar un mayor flujo de purga al lecho compuesto 10. En la novena etapa del ciclo, la etapa de recibir transferencia de presión (algunas veces denominada la etapa de proporcionar ecualización de presión) la válvula 34 está cerrada y el gas del lecho compuesto 12 comienza a represurizar el lecho compuesto 10. En la décima y última etapa del ciclo, la etapa de presurización de alimentación, la válvula 32 está cerrada y la válvula 18 está abierta para represurizar el lecho compuesto 10 con aire de alimentación del soplador de alimentación 14.

60 El ciclo para el lecho compuesto 12 comprende las mismas etapas realizadas sin sincronización con el ciclo en el lecho compuesto 10 por la mitad del tiempo total del ciclo. Las relaciones relativas al tiempo entre la etapa 1 hasta la 10 para los lechos compuestos 10 y 12 se dan en la tabla de ciclo de la Fig. 2. El tiempo total del ciclo puede oscilar entre 40 y 80 segundos. Las posiciones de las válvulas durante las etapas del ciclo se dan en la Tabla 1.

Tabla 1
Tabla de Válvulas

Lecho compuesto 10 Etapa	Válvula de Alimentación		Válvula de Evac.		Válvula de Producto		Válvula de Purga		Lecho compuesto 12 Etapa
	18	20	34	36	22	24	30	32	
1	A	C	A	A	A	C	C	C	6
2	A	C	C	A	C	C	A	C	7
3	C	C	A	C	C	C	C	A	8
4	C	C	A	C	C	C	C	A	9
5	C	A	C	C	C	C	C	C	10
6	C	A	A	C	C	A	C	C	1
7	C	A	A	C	C	A	A	C	2
8	C	C	A	C	C	C	C	A	3
9	C	C	C	A	C	C	C	A	4
10	A	C	C	A	C	C	C	C	5

A = Abierta C = Cerrada

- 5 Como el tamaño de un sistema AOP convencional está ampliado, el diseño de los vasos de adsorción puede resultar problemático debido a problemas de fabricación u otros factores limitativos. En tal caso, de acuerdo con las realizaciones de la presente invención, el sistema puede estar diseñado al menos con un lecho compuesto que tiene varios vasos más pequeños instalados en paralelo que contienen material adsorbente que funciona como el lecho adsorbente. Los vasos pueden ser sustancialmente idénticos o pueden diferir en tamaño o dimensiones debido a las limitaciones de diseño o problemas de fabricación.

En los términos más amplios, las realizaciones de la presente invención se refieren a un sistema AOP que comprende un número de lechos compuestos, N, de material adsorbente donde N es uno o más. Cada uno de los lechos compuestos N en el sistema AOP comprende adsorbente dispuesto en un número de vasos, n, donde n es mayor que uno. Los vasos n están dispuestos en una configuración de flujo paralelo en la que cada vaso y el adsorbente en él recibe una parte del flujo total de gas en el lecho compuesto y contribuye con una parte del flujo total de gas fuera del lecho compuesto. Además de los lechos compuestos N, el sistema AOP también puede tener un número de lechos convencionales en los que el material adsorbente está contenido en un único vaso; en esta realización, el sistema AOP es una combinación de lechos y lechos compuestos.

Como se ha analizado anteriormente, se desea compensar las diferencias de actuación entre los vasos de un lecho compuesto en un sistema AOP que tiene uno o más lechos compuestos. Los métodos ejemplares para llevar a cabo esto se describen a continuación.

En el sistema AOP de la Fig. 1, el lecho compuesto 10 puede comprender cuatro vasos paralelos como se ilustra como un ejemplo en la Fig. 3. Los vasos 10a, 10b, 10c y 10d están instalados en paralelo y cada vaso contiene una parte del material adsorbente en el lecho compuesto 10 de manera que el adsorbente equivalente del lecho compuesto 10 está contenido en los vasos paralelos 10a, 10b, 10c y 10d. En esta realización ilustrativa, los vasos 10a, 10b, 10c y 10d están conectados en el extremo del producto por un colector de producto 301, que está conectado a la línea de producto 45 en el extremo del producto del lecho compuesto 10. Los vasos 10a, 10b, 10c y 10d están conectados en el extremo de alimentación por el colector de alimentación 303, que está conectado a la línea de alimentación 47 en el extremo de alimentación del lecho compuesto 10. Los colectores 301 y 303 colocan a los vasos 10a, 10b, 10c y 10d en una configuración de flujo paralelo.

Cualquiera de los vasos paralelos puede estar equipado con un dispositivo de restricción de flujo en el extremo de alimentación y/o extremo de producto, y puede usarse cualquier número de vasos paralelos superior a uno. En el ejemplo en la Fig. 3, se usan cuatro vasos y cada uno tiene un dispositivo de restricción de flujo instalado en los extremos de alimentación y producto. Por lo tanto, el vaso 10a tiene un dispositivo de restricción de flujo 305 en el extremo de producto y un dispositivo de restricción de flujo 307 en el extremo de alimentación, el vaso 10b tiene un dispositivo de restricción de flujo 309 en el extremo de producto y un dispositivo de restricción de flujo 311 en el extremo de alimentación, el vaso 10c tiene un dispositivo de restricción de flujo 313 en el extremo de producto y un dispositivo de restricción de flujo 315 en el extremo de alimentación, y el vaso 10d tiene un dispositivo de restricción de flujo 317 en el extremo de producto y un dispositivo de restricción de flujo 319 en el extremo de alimentación. En realizaciones alternativas, los dispositivos de restricción de flujo pueden estar instalados en el extremo de alimentación o en el extremo de producto de los vasos.

Los dispositivos de restricción de flujo pueden seleccionarse del grupo consistente en un orificio, una válvula ajustable, un segmento de tubo con diámetro reducido y una válvula de retención con parada ajustable. La válvula ajustable puede ser una válvula adaptada para su ajuste manual o mediante un sistema posicionador de válvula operado desde una localización remota. El posicionador de válvula puede operarse por un sistema central de control de proceso si se desea. La válvula de retención con parada ajustable es un dispositivo de válvula de retención en el

que la parada evita que el mecanismo interno de retención se cierre por completo. La parada puede ajustarse mientras el sistema está funcionando. Cuando el flujo de gas pasa a través de una válvula de retención con parada ajustable en una dirección, el mecanismo interno de la válvula presenta una baja restricción al flujo y permite un flujo de gas relativamente mayor en esa dirección. Cuando el flujo de gas para a través de la válvula en la dirección contraria, la parada ajustable previene que el mecanismo interno se cierre por completo, lo que permite que el flujo pase pero con una mayor restricción para fluir, permitiendo de ese modo un flujo de gas relativamente bajo en la dirección contraria. Un ejemplo de una válvula de retención con parada ajustable es la Válvula de Control de Flujo Rexroth Floreg®. Los otros dispositivos de restricción de flujo típicamente se cambian cuando el sistema AOP está fuera de servicio; alternativamente, estos dispositivos pueden cambiarse durante el funcionamiento de AOP si los vasos individuales están equipados con válvulas de aislamiento.

El grado de restricción de flujo de cada dispositivo puede elegirse como se desee para permitir establecer las velocidades de flujo apropiadas dentro y fuera de los extremos de alimentación y de producto de los vasos durante las etapas del ciclo aplicables al proceso. El grado de restricción de flujo en cada dispositivo se selecciona para obtener una actuación de adsorción equivalente o casi equivalente de los vasos 10a, 10b, 10c y 10d de acuerdo con los criterios descritos más adelante. Cuando el sistema funciona de acuerdo con el ciclo de la Fig. 2 y la Tabla 1, por ejemplo, un dispositivo de restricción de flujo en el extremo de alimentación de un vaso afectará a la velocidad de flujo de gas a ese vaso durante las etapas de adsorción/fabricación del producto y presurización de la alimentación y desde el vaso durante las etapas de evacuación y purga. De la misma manera, un dispositivo de restricción de flujo en el extremo de producto de un vaso afectará a la velocidad de flujo de gas desde ese vaso durante la etapa de adsorción/fabricación del producto, la etapa de adsorción/fabricación del producto/proporcionar la purga, las etapas de proporcionar transferencia de presión y recibir transferencia de presión, y las etapas de proporcionar purga y recibir purga.

Son posibles realizaciones alternativas para permitir establecer diferentes velocidades de flujo de gas durante diferentes etapas seleccionadas del ciclo. Una de estas alternativas se ilustra en el ejemplo de la Fig. 4 donde se proporciona un colector de manera que el extremo de alimentación de cada vaso esté equipado con dos dispositivos paralelos de restricción de flujo, teniendo cada dispositivo una válvula de retención adyacente para permitir el flujo a través del dispositivo solamente en una dirección. En esta realización, el colector de alimentación 401 está conectado a la línea 47 y el colector de producto 402 está conectado a la línea 45. El vaso 10a está provisto del dispositivo de restricción de flujo 403 y la válvula de retención 404 que permite el flujo solamente al extremo de alimentación del vaso 10a, cuyo flujo tiene lugar durante las etapas de adsorción/fabricación del producto y presurización de la alimentación. El vaso 10a también está provisto del dispositivo de restricción de flujo 405 y la válvula de retención 407 que permite el flujo solamente desde el extremo de alimentación del vaso 10a, cuyo flujo tiene lugar durante las etapas de evacuación y purga de ese lecho compuesto. Se instalan dispositivos análogos de restricción de flujo 409, 411, 413, 415, 417 y 419 y válvulas de restricción análogas 421, 423, 425, 427, 429 y 431 como se muestra en los extremos de alimentación de los vasos 10b, 10c y 10d, respectivamente. Mientras los dispositivos de restricción de flujo no se muestran en los extremos de producto de los vasos en la realización de la Fig. 4, tales dispositivos pueden usarse en los extremos del producto de los vasos si se desea en realizaciones alternativas.

Se ilustra otra realización en el ejemplo de la Fig. 5, en el que se proporcionan dos colectores separados en los extremos de alimentación de los vasos, en los que el colector de alimentación 501 proporciona la introducción de gas de alimentación a los vasos y el colector de evacuación 503 proporciona la retirada del gas de evacuación y purga de los vasos. El colector de alimentación 501 está conectado por medio de la válvula 18 al colector de alimentación 16 y el colector de evacuación 503 está conectado por medio de la válvula 34 al colector de evacuación 38. El colector del producto 504 está conectado a la línea 45 que está en comunicación fluida con las válvulas 26, 30 y 32. El colector de alimentación 501 permite la instalación de dispositivos de restricción de flujo 505, 507, 509 y 511 en los extremos de alimentación de los vasos 10a, 10b, 10c y 10d, respectivamente, donde estos dispositivos afectan a la velocidad de flujo del gas de alimentación en los respectivos vasos durante las etapas de adsorción/fabricación del producto y represurización de la alimentación. El colector de evacuación 503 permite la instalación de dispositivos de restricción de flujo 513, 515, 517 y 519 como se muestra en los extremos de alimentación de los vasos 10a, 10b, 10c y 10d, respectivamente, donde estos dispositivos afectan a las velocidades de flujo de gas del vaso durante las etapas de evacuación y purga. Mientras los dispositivos de restricción de flujo no se muestran en los extremos de producto de los vasos en la realización de la Fig. 5, tales dispositivos pueden usarse en los extremos de producto de los vasos si se desea en realizaciones alternativas.

Se ilustra otra realización en el Ejemplo 6, en el que se proporcionan dos colectores separados en los extremos de producto de los vasos, donde el colector 601 proporciona la retirada del gas del producto de los vasos y el colector 603 proporciona la introducción de recibir gas de purga y recibir gas de transferencia de presión en los vasos y la retirada de proporcionar gas de purga y proporcionar gas de transferencia de presión de los vasos. El colector 601 está conectado por medio de la válvula 22 al colector de producto 26 y el colector 603 está conectado a las válvulas 30 y 32. El colector 603 comprende válvulas de retención con parada ajustable 605, 607, 609 y 611 en los extremos de producto de los vasos 10a, 10b, 10c y 10d, respectivamente. La realización de la Fig. 6 permite que el flujo libre de gas desde los vasos durante la etapa de adsorción/fabricación del producto y permite la restricción selectiva de flujo a y desde los vasos durante las etapas de proporcionar transferencia de presión y recibir transferencia de

presión y las etapas de proporcionar purga y recibir purga. Con esta configuración, la restricción de flujo en los extremos de producto del vaso pueden ajustarse para cada vaso para las etapas de proporcionar purga y las etapas de proporcionar transferencia de presión sin afectar a la restricción de flujo en los extremos de producto durante las etapas de recibir purga y recibir transferencia de presión, sin afectar al flujo durante la etapa de adsorción/fabricación de producto. Los dispositivos de restricción de flujo pueden usarse o no en los extremos de alimentación de los vasos. Las realizaciones alternativas pueden incluir dispositivos de restricción de flujo en el colector 601.

Los dispositivos de restricción de flujo en cualquiera de las realizaciones de las Figs. 3, 4, 5 y 6 pueden usarse para establecer las velocidades de flujo de gas para etapas seleccionadas del proceso con el fin de equilibrar la actuación de adsorción de los múltiples vasos paralelos de cada lecho compuesto. Pueden preverse otras configuraciones de dispositivos de restricción de flujo para su uso dentro de las amplias realizaciones de la invención.

La actuación equilibrada de los múltiples vasos de un lecho compuesto se consigue cuando las corrientes de gas de producto de los vasos adsorbentes en el lecho son similares en pureza de producto, es decir, cuando las concentraciones de un componente seleccionado en las corrientes de gas de producto varían menos que un valor máximo aceptable. El logro de la actuación equilibrada puede indicarse, por ejemplo, mediante las concentraciones en tiempo medio del componente seleccionado durante cualquier etapa o etapas en las que el gas de producto se retira del extremo de producto de cada vaso paralelo. El logro de una actuación equilibrada puede indicarse mediante otros parámetros de control como se analiza más abajo.

Pueden controlarse varios parámetros de control para determinar cuándo los vasos están en funcionamiento equilibrado o el grado hasta el que cualquier vaso no está en funcionamiento equilibrado con los otros vasos. Un parámetro de control es la concentración de un componente seleccionado en el gas de producto de cada vaso que se elige para representar la pureza del producto como se ha descrito anteriormente. Otros parámetros de control pueden incluir, por ejemplo, la concentración de un componente seleccionado en el gas efluente de purga desde cualquiera de los vasos, la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas efluente de purga desde cualquiera de los vasos, la concentración máxima o mínima de un componente seleccionado en el espacio vacío del adsorbente en un punto seleccionado en el vaso y la presión diferencial entre dos puntos en el vaso en un tiempo seleccionado durante las etapas secuenciales. Pueden preverse otros parámetros de control alternativos para controlar el funcionamiento de los vasos.

Cuando se usan como un parámetro de control o como criterio para el funcionamiento equilibrado, los términos genéricos "concentración" o "concentración de gas" significan cualquier concentración que (1) se determina en un momento específico en una etapa seleccionada del ciclo AOP, y/o (2) hace media con el tiempo durante la duración de esta etapa, y/o (3) un valor máximo o mínimo durante esa etapa.

El parámetro de control usado para controlar el funcionamiento del vaso debería estar correlacionado con el criterio para funcionamiento equilibrado descrito anteriormente de manera que cuando el parámetro de control seleccionado cumple un conjunto específico de condiciones operativas los vasos paralelos de un lecho compuesto cumplen el criterio seleccionado de la composición de gas de producto para el funcionamiento equilibrado. Cuando el parámetro de control es la composición de gas de producto, la correlación con el criterio para el funcionamiento equilibrado es inherente. La correlación de la composición de gas de producto con otros parámetros de control puede establecerse experimentalmente para un determinado sistema y ciclo AOP. Una vez que se establece la correlación, el parámetro de control puede usarse para el posterior control del funcionamiento.

La primera etapa en el equilibrio de la actuación de adsorción para los vasos paralelos de un lecho compuesto es seleccionar un parámetro de control, una etapa secuencial específica (por ejemplo, una de las etapas anteriormente descritas para el ciclo de proceso ejemplar de la Tabla 1), y una corriente de gas que entra o sale del vaso durante la etapa secuencial específica. La selección de un parámetro de control dependerá de las características del adsorbente, los gases a ser separados, y el ciclo del proceso AOP usado para la separación. Las estrategias operativas que usan más de un parámetro de control son posibles, dependiendo de los gases que se están separando y del ciclo del proceso AOP que se está usando. Un parámetro de control deseable típicamente tiene cualquiera de las siguientes características: (a) muestra sensibilidad razonable a los cambios en el equilibrio de la actuación del vaso adsorbente, (b) muestra igualdad del parámetro de control entre los vasos cuando la actuación entre los vasos está equilibrada de acuerdo con la definición anterior, (c) muestra una rápida respuesta a los cambios en la actuación del vaso, y (d) se mide o calcula fácilmente.

Después de que el parámetro de control se haya seleccionado y esté correlacionado con el criterio del funcionamiento equilibrado definido anteriormente, se define una estrategia operativa para determinar las acciones reales del proceso requeridas para conseguir un funcionamiento equilibrado o sustancialmente equilibrado de uno o más vasos de un lecho compuesto. La estrategia operativa determina los cambios que tienen que hacerse a los dispositivos de restricción de flujo en base a los parámetros calculados de control con el fin de conseguir el grado deseado de equilibrio entre los vasos. La respuesta de un parámetro de control en un vaso a un cambio en el dispositivo de restricción de flujo en ese vaso puede ser en una de dos direcciones. En una perspectiva operativa, el valor del parámetro de control en un vaso aumenta cuando el dispositivo de restricción de flujo se hace más

restrictivo, es decir, cuando la velocidad de flujo de gas disminuye. En la otra perspectiva operativa, el valor del parámetro de control en un vaso disminuye cuando el dispositivo de restricción de flujo se hace más restrictivo, es decir, cuando la velocidad de flujo de gas disminuye.

Como un ejemplo, si se elige la presión máxima durante el ciclo como un parámetro de control, este parámetro disminuirá en valor en un vaso si un dispositivo de restricción de flujo en la entrada de ese vaso se hace más restrictivo para reducir el flujo del gas de entrada. Esto ocurre porque entrará menos gas de alimentación al vaso durante la fase de alimentación de alta presión. Como otro ejemplo, si se selecciona la pureza del producto que sale de un vaso como un parámetro de control, este parámetro de control aumentará en valor en un vaso si el dispositivo de restricción de flujo en la salida de ese vaso se hace más restrictivo para reducir el flujo de salida del gas del vaso. Esto ocurre porque saldrá menos gas de producto del vaso durante la etapa de fabricación del producto.

La respuesta real de un parámetro de control a los cambios en cada uno de los dispositivos de restricción de flujo puede conocerse a partir de la experiencia previa. Si no se conoce, puede determinarse experimentalmente en el sistema AOP haciendo un cambio al dispositivo de restricción de flujo y controlando la respuesta del parámetro de control a ese cambio. Esta información puede usarse posteriormente para hacer más cambios a los dispositivos de restricción de flujo para conseguir un equilibrio operativo entre los vasos del lecho compuesto.

Cuando un dispositivo de restricción de flujo se hace más o menos restrictivo para cambiar el flujo de gas a o desde un vaso, y una respuesta tiene lugar en un parámetro de control para ese vaso, la respuesta del parámetro será la contraria en los otros vasos en el lecho compuesto. Esto es porque los vasos del lecho compuesto reciben cada uno un parte del flujo total de gas para el lecho compuesto, y un cambio en la velocidad de flujo del gas a o desde el vaso dará como resultado un cambio en las velocidades de flujo a y desde los otros vasos, pero en la dirección opuesta. La magnitud de la respuesta del parámetro de control en cada vaso puede ser diferente. En referencia de nuevo al ejemplo en el que se elige la máxima presión del lecho compuesto durante el ciclo como el parámetro de control, cuando el parámetro de control disminuye en valor en un vaso cuando un dispositivo de restricción de flujo en la entrada de ese vaso se hace más restrictivo para reducir la velocidad de flujo de gas en el vaso, si los otros dispositivos de restricción de flujo (si hay) en todos los vasos en el lecho compuesto no se cambian, el valor del parámetro de control aumentará en los otros vasos porque más gas de alimentación se desviará a ellos.

Una vez que se conoce la respuesta del control variable a los cambios en cada uno de los dispositivos de restricción de flujo, se determina una estrategia para equilibrar los vasos en el lecho compuesto de acuerdo con las perspectivas descritas en la Tabla 2.

Tabla 2
Parámetro de Control y Perspectivas de Funcionamiento

Respuesta Característica del Parámetro de Control a la Velocidad Seleccionada del Flujo de Gas para una Etapa Secuencial Seleccionada	Situación Operativa Real para un Vaso Seleccionado de un Lecho Compuesto con Múltiples Vasos	Cambio Operativo Requerido para el Vaso Seleccionado del Lecho Compuesto
El parámetro de control aumenta cuando la velocidad de flujo aumenta	El parámetro de control para un vaso seleccionado es mayor que la media de los parámetros de control para todos los vasos del lecho compuesto	Disminución de la velocidad de flujo del gas seleccionado
	El parámetro de control para un vaso seleccionado es menor que la media de los parámetros de control para todos los vasos del lecho compuesto	Aumento de la velocidad de flujo del gas seleccionado
El parámetro de control disminuye cuando la velocidad de flujo aumenta	El parámetro de control para un vaso seleccionado es mayor que la media de los parámetros de control para todos los vasos del lecho compuesto	Aumento de la velocidad de flujo del gas seleccionado
	El parámetro de control para un vaso seleccionado es menor que la media de los parámetros de control para todos los vasos del lecho compuesto	Disminución de la velocidad de flujo del gas seleccionado

Como se ha descrito anteriormente y se ha resumido en la columna izquierda de la Tabla 2, hay dos características responsables de un parámetro de control a un cambio en la velocidad de flujo de gas a través de un dispositivo seleccionado de restricción de flujo, concretamente, (1) el parámetro de control aumenta cuando la velocidad de flujo aumenta y (2) el parámetro de control disminuye cuando la velocidad de flujo aumenta. Una vez que se determinan

los valores del parámetro de control para todos los vasos durante el funcionamiento real del AOP, dos situaciones operativas reales pueden tener lugar para cada una de estas dos respuestas características, concretamente, (a) el parámetro de control para un vaso seleccionado es mayor que la media de los parámetros de control para todos los vasos del lecho compuesto y (b) el parámetro de control para un vaso seleccionado es menor que la media de los parámetros de control para todos los vasos del lecho compuesto. Como se observa en la columna central de la Tabla 2, para cada una de las situaciones operativas (1)(a), (1)(b), (2)(a) y (2)(b) para un vaso seleccionado, se requiere un cambio operativo como se enumera en la columna derecha de la Tabla 2. Estos cambios son los siguientes: para la situación operativa (1)(a), disminución de la velocidad de flujo del gas seleccionado; para la situación operativa (1)(b), aumento de la velocidad de flujo del gas seleccionado; para la situación operativa (2)(a), aumento de la velocidad de flujo del gas seleccionado; y para la situación operativa (2)(b), disminución de la velocidad del flujo de gas seleccionado.

Si un dispositivo de restricción de flujo en un vaso está en su posición de menos restricción, es decir, permite el máximo flujo, y si la lógica en la Tabla 2 indica que el dispositivo debería hacerse menos restrictivo para aumentar la velocidad de flujo, entonces los dispositivos de restricción de flujo en el otro vaso u otros vasos del lecho compuesto deberían hacerse más restrictivos para disminuir las correspondientes velocidades de flujo para ese vaso o esos vasos.

En general, la primera etapa en el equilibrio de la actuación de los vasos debería estar dirigida al vaso o vasos que muestran la mayor desviación (positiva o negativa) del parámetro de control desde la media de los parámetros de control de los otros vasos o para todos los vasos. Esto es porque un vaso que muestra una pobre actuación corre el riesgo de penetración de los componentes adsorbidos en la corriente de producto. Una pequeña cantidad de penetración reducirá sustancialmente la calidad del producto, y prevenir o corregir la penetración mostrará grandes beneficios en la producción. Por otro lado, para muchos sistemas AOP un vaso que está mostrando actuación mucho mejor que la media de los vasos en el lecho compuesto está haciendo innecesariamente gas de producto de alta calidad, y acercando la calidad del gas de producto de ese vaso a la media, la velocidad de flujo del producto del vaso y por lo tanto el lecho compuesto pueden aumentarse.

El número de dispositivos de restricción de flujo por vaso no se limita a un único dispositivo en la entrada y un único dispositivo en la salida como se muestra en la Fig. 3. Por ejemplo, la Fig. 4 muestra una disposición de cuatro vasos en los que un dispositivo de restricción de flujo está instalado en el extremo de alimentación de cada vaso para funcionar cuando el gas está fluyendo al extremo de alimentación y un dispositivo separado de restricción de flujo está instalado en el extremo de alimentación para funcionar cuando el gas está fluyendo desde el extremo de alimentación del vaso. Las válvulas de retención se emplean para seleccionar qué dirección de flujo tendrá lugar a través de cada dispositivo de restricción de flujo. Anteriormente se analizan otras variaciones con referencia a las Figs. 5 y 6.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de adsorción por oscilación de presión para la separación de una mezcla de gas de alimentación que contiene dos o más componentes, comprendiendo el proceso:

- (a) proporcionar un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende uno o más lechos compuestos, comprendiendo cada lecho compuesto material adsorbente dispuesto en dos o más vasos en configuración de flujo paralelo, teniendo cada vaso un extremo de alimentación y un extremo de producto;
- (b) realizar las etapas secuenciales cíclicas que comprenden

- (b1) introducir la mezcla de gas de alimentación en los extremos de alimentación de dos o más vasos del lecho compuesto y retirar el gas del producto de los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto,

- (b2) retirar el gas a presión decreciente desde los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto,

- (b3) purgar el lecho compuesto introduciendo gas de purga en los extremos de producto de los dos o más vasos del lecho compuesto y retirar el gas efluente de purga de los extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto, e

- (b4) introducir gas en los extremos de producto y/o extremos de alimentación de los dos o más vasos del lecho compuesto a presión creciente; y

- (c) para cualquiera de las etapas secuenciales, establecer una velocidad de flujo o velocidades de flujo de uno o más gases seleccionados del grupo consistente en:

- (c1) gas introducido en el extremo o extremos de alimentación de cualquiera de los dos o más vasos,

- (c2) gas introducido en el extremo o extremos de producto de cualquiera de los dos o más vasos,

- (c3) gas retirado del extremo o extremos de alimentación de cualquiera de los dos o más vasos, y

- (c4) gas retirado del extremo o extremos de producto de cualquiera de los dos o más vasos.

2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la velocidad de flujo se establece o las velocidades de flujo se establecen para mantener los valores de los parámetros de control seleccionados para los dos o más vasos de manera que

la diferencia absoluta entre los parámetros de control seleccionados para dos cualesquiera de los dos o más vasos es inferior a un valor predeterminado, o

la diferencia absoluta entre el parámetro de control seleccionado de cada uno de los dos o más vasos del lecho compuesto y la media de los parámetros de control de cada uno de los dos o más vasos del lecho compuesto es inferior a un valor predeterminado,

en el que el parámetro de control para cada vaso se selecciona del grupo consistente en

- (1) la concentración en tiempo medio de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;

- (2) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas del producto del vaso;

- (3) el tiempo medio de la concentración de un componente seleccionado en el gas efluente de purga del vaso;

- (4) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el gas efluente de purga del vaso;

- (5) la concentración mínima o máxima de un componente seleccionado en el espacio vacío del adsorbente en un punto seleccionado en el vaso;

- (6) la presión diferencial entre dos puntos en el vaso en un tiempo seleccionado durante las etapas secuenciales;

- (7) la temperatura mínima o máxima en un punto seleccionado en los vasos durante las etapas secuenciales; y

- (8) la presión mínima o máxima en un punto seleccionado en el vaso durante las etapas secuenciales.

3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende dos o más lechos compuestos de material adsorbente.

4. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1 que consiste en dos lechos compuestos de material adsorbente, en el que cada lecho compuesto consiste en 2 a 20 vasos.

5. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la mezcla de gas de alimentación es aire y el gas del producto contiene más del 85% de volumen de oxígeno; y en el que un parámetro de control para cada vaso es la concentración en tiempo medio de oxígeno en el gas del producto retirado de la salida de ese vaso.

6. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende

d) seleccionar un parámetro de control, y

5 e) establecer la velocidad de flujo o las velocidades de flujo para mantener los valores del parámetro de control para los vasos seleccionados de los dos o más vasos de manera que la diferencia absoluta entre los valores para dos cualesquiera de los vasos seleccionados sea inferior a un valor predeterminado.

7. El proceso de acuerdo con la reivindicación 2 que además comprende

10 d) seleccionar un control de parámetro; y

e) establecer la velocidad de flujo o las velocidades de flujo para mantener los valores del parámetro de control para los vasos seleccionados de los dos o más vasos de manera que la diferencia absoluta entre los valores para dos cualesquiera de los vasos seleccionados sea inferior a un valor predeterminado; y

15 f) en el que la mezcla de gas de alimentación es aire y el gas del producto contiene más del 85% de volumen de oxígeno; y en el que el parámetro de control para cada vaso es la concentración en tiempo medio de oxígeno en el gas del producto retirado de la salida de ese vaso.

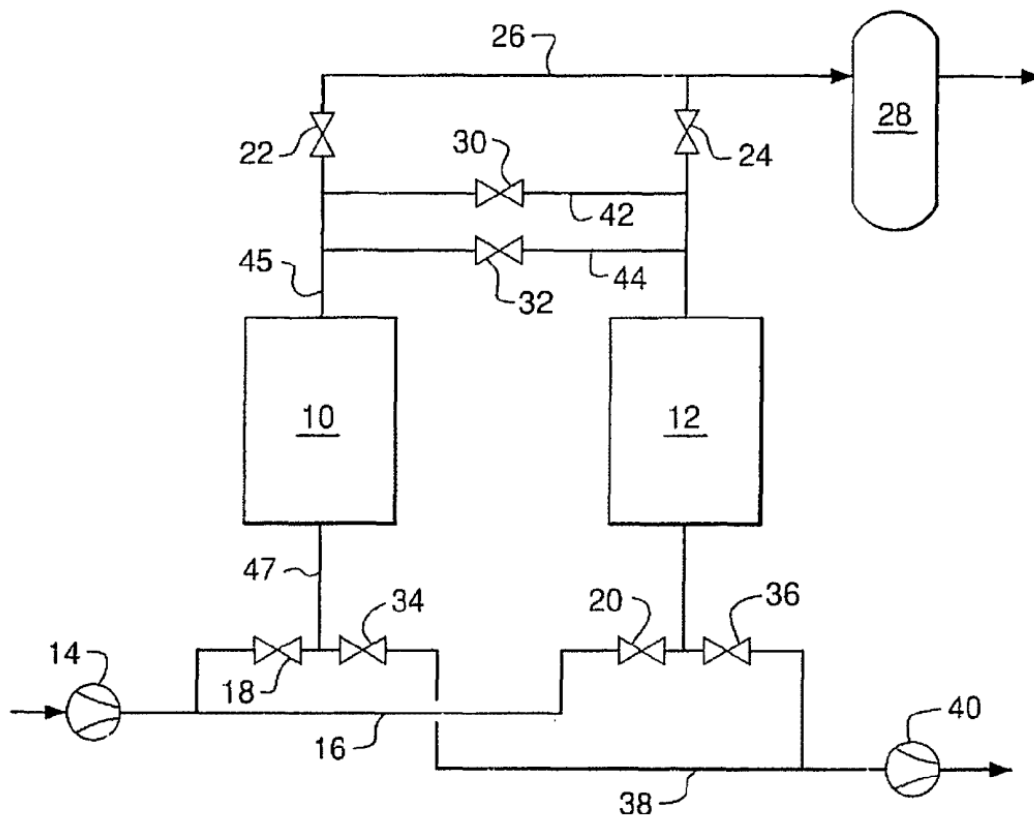


FIG. 1

LECHO	ETAPA N°									
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5

TIEMPO →

FIG. 2

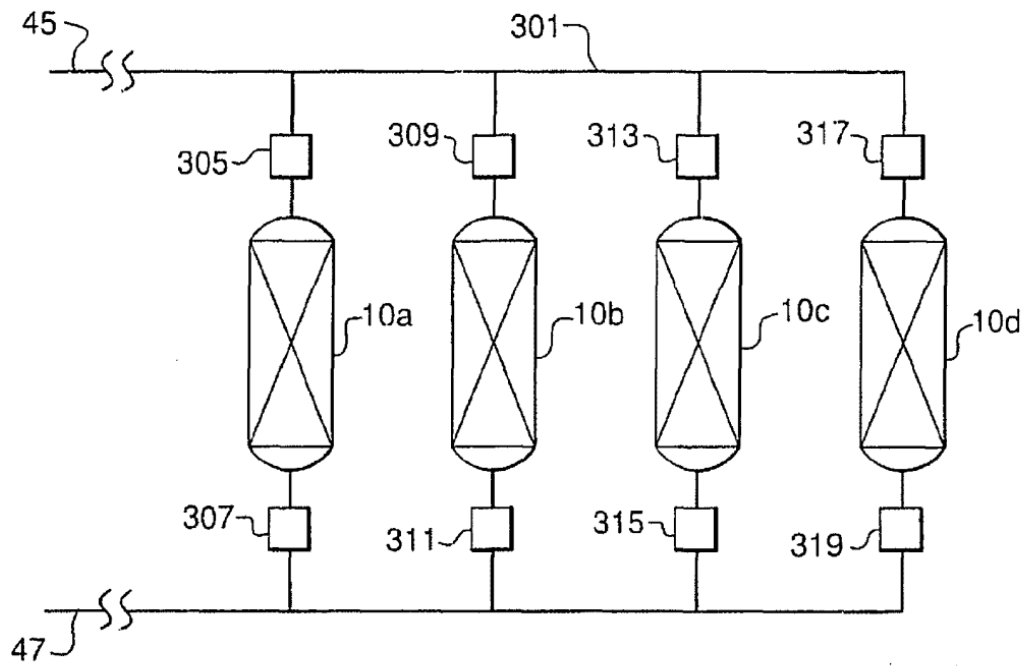


FIG. 3

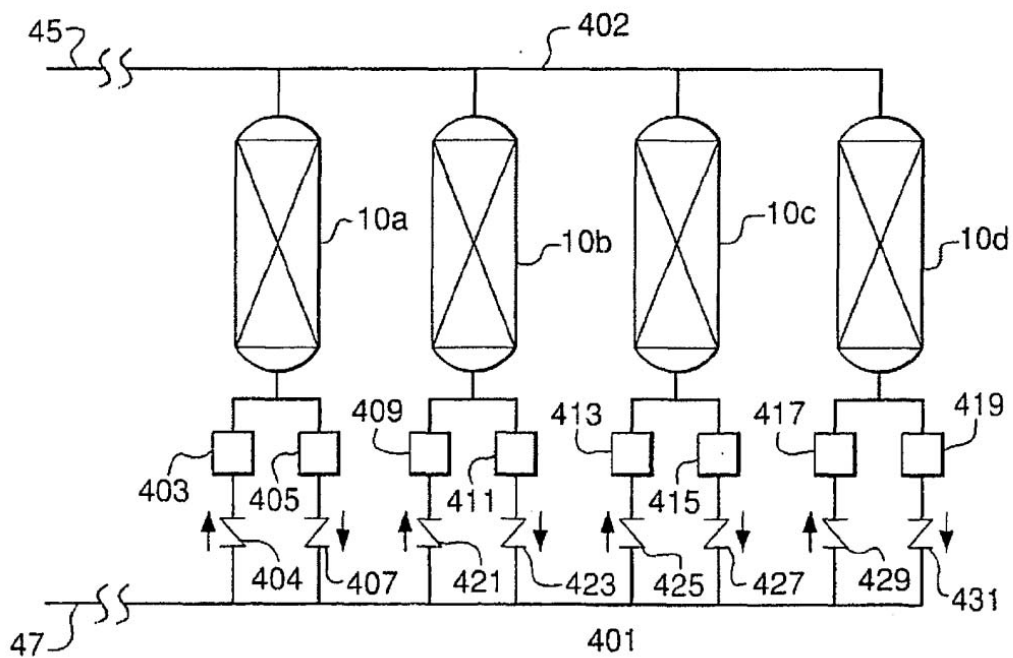


FIG. 4

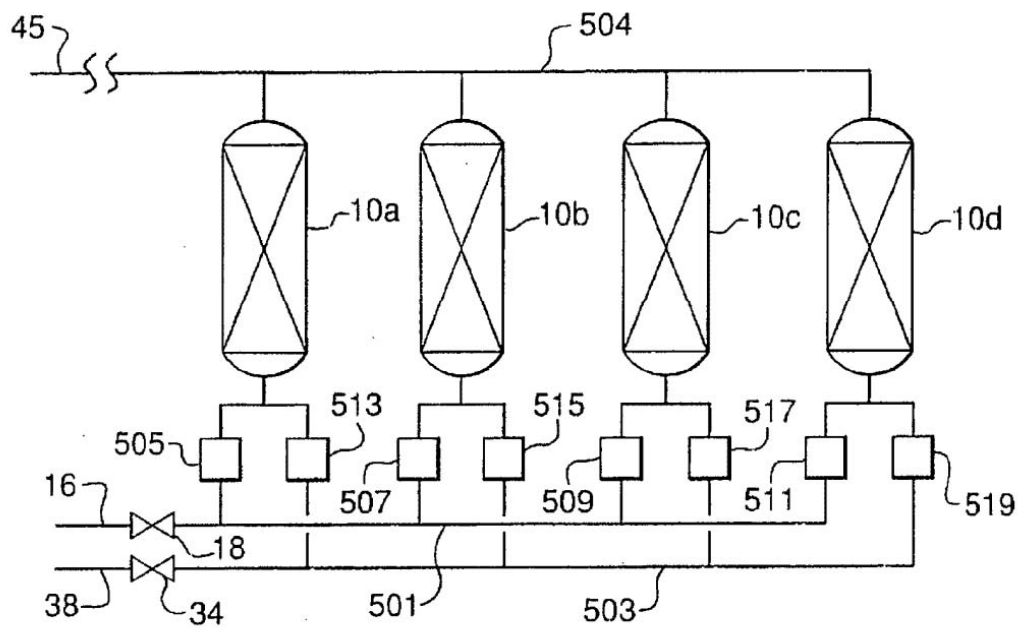


FIG. 5

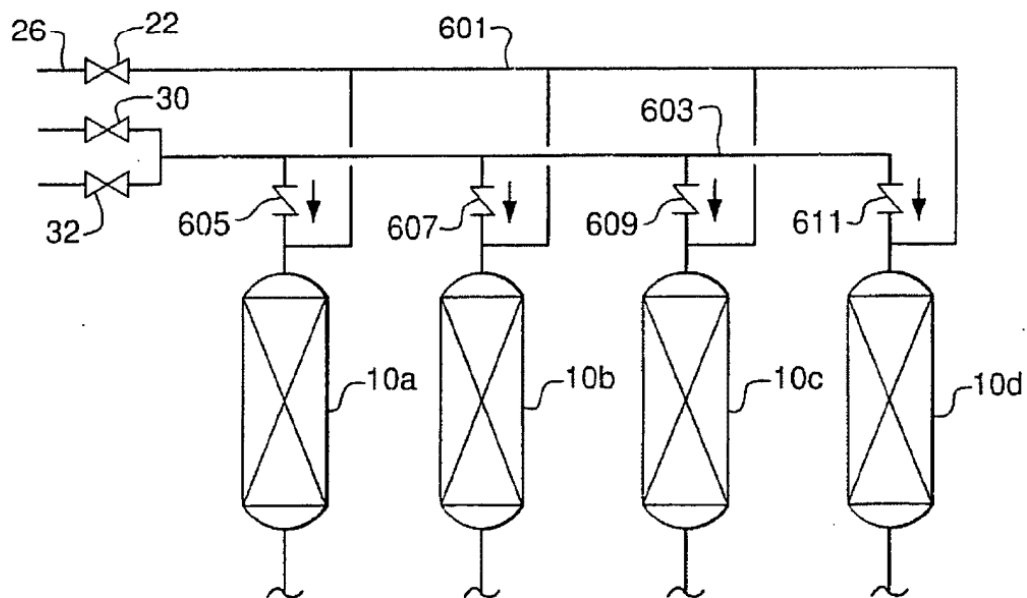


FIG. 6