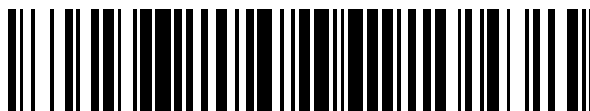


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 608**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/053** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2007 PCT/US2007/015475**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.01.2008 WO08005492**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2007 E 07810198 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 2046483**

54 Título: **Proceso de VPSA y sistema para la recuperación de oxígeno mejorada**

30 Prioridad:

**06.07.2006 US 480833**

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

**05.11.2018**

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)  
39 Old Ridgebury Road  
Danbury, CT 06810-5113, US**

72 Inventor/es:

**BAKSH, MOHAMED SAFDAR, ALLIE y  
ROSINSKI, ANDREW, CHESTER**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 688 608 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

Proceso de VPSA y sistema para la recuperación de oxígeno mejorada

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un proceso de adsorción con oscilación de presión al vacío y a un sistema para la producción de oxígeno. Más en particular, se refiere a un proceso y sistema adaptados para la producción a gran escala de oxígeno a partir del aire.

10

**Antecedentes**

En la actualidad, los procesos de adsorción con oscilación de presión (PSA, por su sigla en inglés) o de adsorción con oscilación de presión al vacío (VPSA, por su sigla en inglés) de dos y tres lechos son utilizados comúnmente para la producción de oxígeno. A medida que aumenta la capacidad de la planta, el gas residual aumenta debido a la escasa recuperación de O<sub>2</sub>, y a la bomba o bombas de vacío les lleva más tiempo eliminar los residuos totales durante la regeneración de los lechos, puesto que las bombas funcionan cada vez más cerca de su rendimiento máximo. En dichas situaciones se puede conseguir una recuperación de O<sub>2</sub> superior a 60 % utilizando cuatro o más lechos para ejecutar el proceso de PSA con etapas adicionales para concederle más tiempo a la regeneración de los lechos y a la recuperación de gases de vacío en el lecho antes de la despresurización contracorriente. En comparación con los procesos de dos y tres lechos, los procesos de cuatro o más lechos ofrecen mayor libertad (condiciones de funcionamiento de proceso, tamaño de lecho y ciclos) y costes de equipo inferiores.

Los procesos de VPSA de doble lecho para la producción de oxígeno a partir de aire se describen en Baksh et al. (patente de EE. UU. N.º 5.518.526) y Smolarek et al. (patente de EE.UU. N.º 6.010.555). Ambas patentes describieron los procesos de VPSA de doble lecho para producir O<sub>2</sub> a partir del aire.

Smolarek et al. (patente de EE.UU. N.º 5.656.068) describieron un proceso de VPSA de cuatro lechos, que funcionaba como dos pares de sistemas de doble lecho, denominado sistema/ciclo 2x2, para producir oxígeno a partir del aire. Cada par de lechos funciona 180° fuera de fase y los dos pares de lechos funcionan fuera de fase en una mitad de medio ciclo. En el proceso de VPSA de la patente de EE.UU. N.º 5.656.068 se utilizan dos compresores (uno de tipo Roots o de desplazamiento positivo y uno centrífugo) y dos bombas de vacío (una de tipo Roots o de desplazamiento positivo y una centrífuga). Uno de los dos compresores está periódicamente en el modo inactivo o de venteo.

Doong (patente de EE.UU. N.º 5.997.612) describió un sistema de VPSA de cuatro lechos que funcionaba como dos pares de lechos de adsorción para producir alrededor de 100 toneladas por día (TPD) de oxígeno. El proceso de VPSA incluye dos pares de lechos, un tanque de almacenamiento intermedio (para recoger la despresurización a favor de la corriente que se ha de utilizar en la purga de los lechos), un soplador de gas y un par de bombas de vacío. El sistema descrito en la patente de EE.UU. N.º 5.997.612 utiliza tres bombas en comparación con las cuatro bombas utilizadas en la patente de EE.UU. N.º 5.656.068. Asimismo, el sistema descrito en la patente de EE.UU. N.º 5.997.612 maneja una corriente de alimentación única en comparación con una corriente de alimentación doble según se describe en la patente de EE.UU. N.º 5.656.068.

Más recientemente, un sistema y proceso de VPSA de cuatro lechos con doble entrada de corriente de alimentación para la producción de oxígeno a gran escala (p. ej., >350 toneladas/día de O<sub>2</sub>) se ha descrito en la solicitud de patente de EE.UU. N.º 11/264.278 (Expediente de abogado N.º 21.489). El sistema descrito utiliza dos compresores y una bomba de vacío en lugar de los dos compresores y las dos bombas de vacío descritas en la patente de EE.UU. N.º 5.656.068. Otro concepto de cuatro lechos se describe en la patente de EE.UU. N.º 4.915.711. Describe un concepto de tren único con 4 lechos, un compresor de alimentación, una bomba de vacío y un compresor de recirculación.

En la aplicación de los procesos de VPSA o PSA, la entrada de energía requerida para conseguir la separación de O<sub>2</sub> de la mezcla de alimentación (p. ej., aire) se proporciona como trabajo mecánico mediante el compresor o compresores de alimentación y la bomba o bombas de vacío. El coste de este trabajo es un componente significativo en el coste operativo total del proceso de VPSA. Asimismo, en la actualidad, las VPSA o PSA compiten desde el punto de vista económico con la destilación criogénica para aplicaciones de pequeña escala únicamente. Para que los procesos de PSA o VPSA sean competitivos en términos de costes respecto de la destilación criogénica para aplicaciones a gran escala, se precisan cuatro o más lechos que operen ciclos de PSA mejorados para conseguir un rendimiento del proceso de PSA mejorado y reducir el coste operativo.

En consecuencia, sería deseable proporcionar un sistema mejorado de lechos múltiples que pudiera ofrecer un

rendimiento mejorado y reducir el coste operativo para producción de oxígeno a gran escala.

### **Resumen de la invención**

5 La presente invención se define en las reivindicaciones.

En términos generales, la presente invención se refiere a un proceso de adsorción con oscilación de presión al vacío de lechos múltiples y a un sistema para conseguir recuperación de O<sub>2</sub> mejorada. El proceso comprende (a) utilizar un sistema que comprende tres o cuatro lechos adsorbentes, (b) alimentar de manera continua un gas de alimentación en un extremo de entrada de corriente de alimentación de un lecho adsorbente, conteniendo dicho lecho al menos un adsorbente que preferentemente adsorbe el componente capaz de adsorberse con más fuerza y eliminar el al menos un componente de gas producto capaz de adsorberse con menos fuerza de un extremo de salida del lecho adsorbente, (c) proporcionar alimentación continua del gas de alimentación utilizando un soplador de alimentación único, (d) purgar los lechos adsorbentes utilizando dos gases de purga de distinta pureza, y (e) producir el componente de gas producto en ciclos mediante etapas donde, en cualquier momento durante el proceso, dos lechos están en una etapa de evacuación y solo un lecho está en un modo de alimentación.

El proceso de VPSA de la invención utiliza tres bombas (un compresor y dos bombas de vacío) con 100 % de utilización de todas las bombas. Una forma de realización de la presente invención también contempla el uso de ciclos únicos de VPSA de cuatro lechos que incluyen 100 % de utilización del compresor y bombas de vacío a la vez que procesa un gas de alimentación de manera continua. La presente invención además comprende el uso de un tanque de compensación (ET, por su sigla en inglés), que es un tanque de almacenamiento utilizado para recoger gas de vacío que se descarga a favor de la corriente desde los lechos de adsorción, y el uso de dicho gas para presurizar parcialmente (contracorriente) los lechos en el proceso de VPSA, mediante compensación de lecho a tanque. La presente invención también comprende el uso de dos gases de purga de distinta pureza, de aquí en adelante denominados «gas de purga de baja pureza» y «gas de purga de alta pureza», que se utilizan para purgar los lechos en el ciclo de VPSA. El gas de purga de alta pureza va directamente a otro lecho sometido a la etapa de purga sin utilizar ningún tanque de almacenamiento, y el gas de baja pureza se genera a partir de otro lecho sometido a una etapa de despresurización a favor de la corriente a continuación de la etapa de compensación de lecho a tanque. Las etapas en el ciclo de VPSA se disponen de tal forma que el gas de purga de baja calidad se utilice para la purga inicial del lecho seguida del uso del gas de purga de alta pureza para la purga final del lecho. Por otra parte, en cualquier momento del ciclo de VPSA, dos de los lechos están simultáneamente en la etapa de evacuación, y solo un lecho está en el modo de alimentación. Asimismo, cada uno de los lechos de la etapa de evacuación está conectado a una bomba de vacío, por lo que se precisan dos bombas de vacío en el proceso de VPSA. La presente invención también contempla una etapa de despresurización contracorriente separada de modo que los residuos generados durante esta etapa eludan la bomba de vacío. La presente invención además contempla etapas de presurización intermedias (p. ej., una etapa de compensación de lecho a tanque y una etapa de presurización de corriente de alimentación y producto de solape) para minimizar la fuga de gas de alimentación durante la etapa de presurización de la corriente de alimentación.

El sistema de VPSA de la presente invención comprende tres o cuatro lechos de adsorción en un único tren; un tanque de compensación (ET) para recoger gas de vacío que se descarga a favor de la corriente desde los lechos de adsorción; al menos una bomba de vacío para evacuar dos lechos de adsorción simultáneamente; y un compresor de alimentación.

### **Breve descripción de los dibujos**

Para una mejor comprensión de la presente invención y de las ventajas que ofrece, se debería hacer referencia a la siguiente descripción detallada interpretada junto con los dibujos que la acompañan en los cuales:

La Fig. 1 es un esquema del proceso de VPSA de cuatro lechos que utiliza un tanque de compensación (ET) y tres bombas (un compresor de alimentación y dos bombas de vacío).

La Fig. 2 es un esquema del ciclo de columna de VPSA de cuatro lechos con dieciséis etapas para usar en el proceso de VPSA de cuatro lechos de la Fig. 1.

La Fig. 3 es un esquema que ilustra un ciclo de columna de VPSA de cuatro lechos alternativo para usar en el proceso de VPSA de cuatro lechos de la Fig. 1, donde no hay etapa de presurización de producto desde el tanque de producto.

La Fig. 4 es un esquema que ilustra un ciclo de columna de VPSA de cuatro lechos alternativo para usar en el proceso de la Fig. 1, donde el gas PG (gas producto) se obtiene únicamente a partir de etapas de despresurización

a favor de la corriente (CD, por su sigla en inglés) y el gas residual en el ET se utiliza en la etapa de lavado de compensación (EQU, por su sigla en inglés).

La Fig. 5 es un esquema que ilustra un ciclo de columna de VPSA de cuatro lechos alternativo para usar en el proceso de la Fig. 1, donde existe comunicación real de lecho a lecho (EQDN con EQU se solapan con FP).

La Fig. 6 es un esquema que ilustra un ciclo de VPSA de cuatro lechos alternativo para usar en el proceso de la Fig. 1, donde no hay ET en el proceso de VPSA.

## 10 Descripción detallada de la invención

La presente invención está dirigida a la aplicación de procesos de VPSA de lechos múltiples para conseguir recuperación de oxígeno mejorada y un mayor rendimiento en comparación con procesos de  $O_2$  de VPSA de la técnica anterior. El proceso comprende (a) utilizar un sistema que comprende tres o cuatro lechos adsorbentes, (b) alimentar de manera continua un gas de alimentación en un extremo de entrada de corriente de alimentación de un lecho adsorbente, conteniendo dicho lecho al menos un adsorbente que preferentemente adsorbe el componente capaz de adsorberse con más fuerza y eliminar el al menos un componente de gas producto capaz de adsorberse con menos fuerza del extremo de salida del lecho adsorbente, (c) proporcionar alimentación continua del gas de alimentación utilizando un soplador de alimentación único, (d) purgar los lechos adsorbentes utilizando dos gases de purga de distinta pureza, y (e) producir el componente de gas producto en ciclos mediante etapas donde en cualquier momento durante el proceso, dos lechos están en una etapa de evacuación y solo un lecho está en un modo de alimentación. La expresión «lechos múltiples» significa que tiene tres o cuatro lechos adsorbentes.

En cualquier momento en el ciclo de VPSA de la presente invención, dos lechos están sometidos a la etapa de evacuación. Asimismo, una forma de realización de esta invención presenta un ciclo de VPSA de cuatro lechos que comprende 100 % de utilización de un compresor y dos bombas de vacío a la vez que procesa un gas de alimentación de manera continua. Asimismo, al menos la mitad del tiempo total del ciclo de VPSA se dedica a la evacuación contracorriente y a la purga de los lechos. Algunos de los rasgos más importantes incluyen, sin carácter restrictivo: (1) alimentación continua al proceso de VPSA; (2) solo se precisan tres máquinas (un compresor y dos bombas de vacío); (3) 100 % de utilización de un compresor y dos bombas de vacío; (4) uso de un tanque de compensación (ET) para recoger gas de despresurización a favor de la corriente que se ha de utilizar en una etapa posterior para la re-presurización del lecho mediante una etapa de compensación de lecho a tanque; (5) la opción de utilizar las mismas o diferentes bombas de vacío (p. ej., centrífuga, de tipo Roots o de desplazamiento positivo) para evacuar el extremo de alimentación de los lechos durante las etapas de evacuación contracorriente y purga del proceso de VPSA; (6) el uso de dos gases de purga de purgas distintas, de aquí en adelante, denominados gases de baja y alta pureza, para purgar los lechos en el ciclo de VPSA. El gas de purga de alta pureza va directamente a otro lecho sometido a la etapa de purga sin usar ningún tanque de almacenamiento, y el gas de baja pureza proviene de una etapa de despresurización a favor de la corriente que sigue a la etapa de compensación de lecho a tanque. Este gas de baja pureza también va directamente a otro lecho que acaba de completar la última etapa de evacuación contracorriente en el ciclo de VPSA. Las etapas del ciclo de VPSA se disponen de tal forma que el gas de purga de baja calidad se utilice para la purga inicial de los lechos seguida del uso del gas de purga de alta pureza para la purga final de los lechos. Dicho modo de funcionamiento permite el uso del gas de purga de baja pureza para purgar otro lecho a la vez que minimiza la cantidad de gas de alta pureza, obtenido de otro lecho en el modo de producción, para completar la etapa de purga; (7) el uso de una etapa de despresurización contracorriente separada de modo que los residuos durante esta etapa eludan la bomba de vacío; y (8) el ciclo de VPSA incorpora etapas de presurización intermedia (p. ej., etapa de compensación de lecho a tanque y etapa de presurización de corriente de alimentación y producto de solape) para minimizar la fuga de gas de alimentación durante la etapa de presurización de la corriente de alimentación. El término «compresor» y el término «bomba de alimentación» se utilizan de forma intercambiable en la presente invención.

Una forma de realización de esta invención muestra un proceso novedoso de PSA de cuatro lechos que utiliza un ET para conseguir recuperación de  $O_2$  mejorada y permite una integración completa de las etapas del ciclo de VPSA y evitar que haya cualquier etapa o etapas inactivas en el ciclo de VPSA. El ET se comunica únicamente con el extremo de producto del lecho adsorbente y nunca está en contacto con el gas de alimentación. El gas de vacío recuperado recogido en el ET se utiliza en una etapa posterior en el ciclo para purgar y represurizar el lecho. Esta forma de realización se describe en la presente con referencia al proceso de VPSA de cuatro lechos representado en la Figura 1, al ciclo de VPSA de cuatro lechos representado en la Figura 2, y a la lógica de cambio de válvulas representada en la Tabla 1.

Tabla 1: Secuencia de activación de válvulas para proceso de VPSA de oxígeno de cuatro lechos y con dieciséis etapas

Etapas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Lecho 1	PCA/RPP	HP1	HP2/PP	HP3	CTAb.	PP	DP	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/RP	EV8/RP	CTAr.
Lecho 2	EV6	EV7/RP	EV8/RP	CTAr.	PCA/RPP	HP1	HP2/PP	HP3	CTAb.	PP	DP	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5
Lecho 3	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/RP	EV8/RP	CTAr.	PCA/RPP	HP1	HP2/PP	HP3	CTAb.	PP	DP	EV1
Lecho 4	CTAb.	PP	DP	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/RP	EV8/RP	CTAr.	PCA/RPP	HP1	HP2/PP	HP3
N.º válvula																
1	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2	C	C	C	C	+O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
3	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C
4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O
5	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
6	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C
7	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C
8	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
9	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C
10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
11	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
12	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
13	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
14	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
15	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C
16	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C



El sistema de VPSA de cuatro lechos de la Figura 1 está constituido por cuatro lechos adsorbentes, un tanque de compensación (ET), un tanque de producto, 27 válvulas de encendido/apagado (que pueden o no tener control de flujo), un compresor de alimentación, dos compresores de vacío, silenciadores de entrada y descarga, y tuberías y accesorios relacionados. Con referencia a las Figuras 1 y 2 y a la Tabla 1, se describe una forma de realización de esta invención en un ciclo completo de VPSA. A efectos ilustrativos de la invención, el gas producto es oxígeno.

## Etapa N.º 1

Al comienzo de la etapa 1, la presión del Lecho 1 (L1) es inferior a la presión del tanque de producto. La Válvula 1 se abre para permitir que entre gas de alimentación al fondo del Lecho 1 desde el Compresor 1 (C1) y la Válvula 24 se abre para permitir que el gas producto entre en la parte superior del Lecho 1. La Válvula 11 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 2 (L2) a través del Compresor 3 (C3). La Válvula 13 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 3 (L3) a través del Compresor 2 (C2). Las Válvulas 23 y 20 se abren para permitir que fluya gas desde la parte superior del Lecho 4 (L4) hacia adentro del ET para uso posterior.

## Etapa N.º 2

Al comienzo de la etapa 2, la Válvula 1 permanece abierta para continuar con el flujo de gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 1. La Válvula 24 permanece abierta y comienza la producción de oxígeno cuando la presión del Lecho 1 alcanza la presión de adsorción. La Válvula 11 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 2 a través del Compresor 3. La Válvula 13 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 3 a través del Compresor 2. La Válvula 23 permanece abierta mientras la Válvula 20 se cierra y las Válvulas 21 y 18 se abren para permitir que fluya gas fuera de la parte superior del Lecho 4 hacia adentro de la parte superior del Lecho 2.

## Etapa N.º 3

Al comienzo de la etapa 3, la Válvula 1 permanece abierta para continuar con el flujo de gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 1. La Válvula 24 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 1. La Válvula 25 se abre para permitir que el gas producto de purga entre en la parte superior del Lecho 2 mientras la Válvula 11 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 2 a través del Compresor 3. La Válvula 13 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 3 a través del Compresor 2. La Válvula 8 se abre para permitir que el Lecho 4 purgue a la atmósfera.

## Etapa N.º 4

Al comienzo de la etapa 4, la Válvula 1 permanece abierta para continuar con el flujo de gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 1. La Válvula 24 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 1. Las Válvulas 18 y 19 se abren para permitir que fluya gas fuera del ET y hacia adentro de la parte superior del Lecho 2. La Válvula 11 se cierra para detener la evacuación del Lecho 2. La Válvula 13 se cierra mientras que la Válvula 14 se abre para permitir la evacuación del Lecho 3 a través del Compresor 3. La Válvula 16 se abre para iniciar la evacuación del Lecho 4 a través del Compresor 2.

## Etapa N.º 5

Al comienzo de la etapa 5, las Válvulas 17 y 19 se abren para permitir que fluya gas desde la parte superior del Lecho 1 hacia adentro del ET para uso posterior. La Válvula 2 se abre para permitir que el gas de alimentación entre en el fondo del Lecho 2 desde el Compresor 1 y la Válvula 25 se abre para permitir que el gas producto entre en la parte superior del Lecho 2. La Válvula 14 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 3 a través del Compresor 3. La Válvula 16 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 4 a través del Compresor 2.

## Etapa N.º 6

Al comienzo de la etapa 6, la Válvula 17 permanece abierta mientras que la Válvula 19 se cierra y las Válvulas 21 y 22 se abren para permitir que fluya gas fuera de la parte superior del Lecho 1 y hacia adentro de la parte superior del Lecho 3. La Válvula 2 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 2. La Válvula 25 permanece abierta y comienza la producción de oxígeno cuando la presión del Lecho 2 alcanza la presión de adsorción. La Válvula 14 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 3 a través del Compresor 3. La Válvula 16 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 4 a través del Compresor 2.

## Etapa N.º 7

Al comienzo de la etapa 7, la Válvula 5 se abre para permitir que el Lecho 1 purgue a la atmósfera. La Válvula 2 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 2. La Válvula 25 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 2. La Válvula 26 se abre para permitir que el gas producto de purga entre en la parte superior del Lecho 3 mientras la Válvula 14 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 3 a través del Compresor 3. La Válvula 16 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 4 a través del Compresor 2.

## 10 Etapa N.º 8

Al comienzo de la etapa 8, la Válvula 9 se abre para iniciar la evacuación del Lecho 1 a través del Compresor 2. La Válvula 2 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 2. La Válvula 25 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 2. Las Válvulas 20 y 22 se abren para permitir que fluya gas fuera del ET y hacia adentro de la parte superior del Lecho 3. La Válvula 14 se cierra para detener la evacuación del Lecho 3. La Válvula 16 se cierra mientras la Válvula 15 se abre para permitir la evacuación del Lecho 4 a través del Compresor 3.

## Etapa N.º 9

Al comienzo de la etapa 9, la Válvula 9 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 1 a través del Compresor 2. Las Válvulas 18 y 19 se abren para permitir que fluya gas desde la parte superior del Lecho 2 hacia adentro del ET para uso posterior. La Válvula 3 se abre para permitir que el gas de alimentación entre en el fondo del Lecho 3 desde el Compresor 1 y la Válvula 26 se abre para permitir que el gas producto entre en la parte superior del Lecho 3. La Válvula 15 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 4 a través del Compresor 3.

## Etapa N.º 10

Al comienzo de la etapa 10, la Válvula 9 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 1 a través del Compresor 2. La Válvula 18 permanece abierta mientras la Válvula 19 se cierra y las Válvulas 21 y 23 se abren para permitir que fluya gas fuera de la parte superior del Lecho 2 hacia adentro de la parte superior del Lecho 4. La Válvula 3 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 3. La Válvula 26 permanece abierta y comienza la producción de oxígeno cuando la presión del Lecho 3 alcanza la presión de adsorción. La Válvula 15 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 4 a través del compresor 3.

## Etapa N.º 11

Al comienzo de la etapa 11, la Válvula 9 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 1 a través del Compresor 2. La Válvula 6 se abre para permitir que el Lecho 2 purgue a la atmósfera. La Válvula 3 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 3. La Válvula 26 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 3. La Válvula 27 se abre para permitir que el gas producto de purga entre en la parte superior del Lecho 4 mientras la Válvula 15 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 4 a través del Compresor 3.

## Etapa N.º 12

Al comienzo de la etapa 12, la Válvula 9 se cierra mientras la Válvula 10 se abre para permitir la evacuación del Lecho 1 a través del Compresor 3. La Válvula 12 se abre para iniciar la evacuación del Lecho 2 a través del Compresor 2. La Válvula 3 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 3. La Válvula 26 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 3. Las Válvulas 20 y 23 se abren para permitir que fluya gas fuera del ET y hacia adentro de la parte superior del Lecho 4. La Válvula 15 se cierra para detener la evacuación del Lecho 4.

## Etapa N.º 13

Al comienzo de la etapa 13, la Válvula 10 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 1 a través del Compresor 3. La Válvula 12 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 2 a través del Compresor 2. Las Válvulas 20 y 22 se abren para permitir que fluya gas desde la parte superior del Lecho 3 hacia adentro del ET para uso posterior. La Válvula 4 se abre para permitir que el gas de alimentación entre en el fondo del Lecho 4 desde el Compresor 1 y la Válvula 27 se abre para permitir que el gas producto entre en la parte



superior del Lecho 4.

**Etapa N.º 14**

- 5 Al comienzo de la etapa 14, la Válvula 10 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 1 a través del compresor 3. La Válvula 12 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 2 a través del Compresor 2. La Válvula 22 permanece abierta mientras la Válvula 20 se cierra y las Válvulas 21 y 17 se abren para permitir que fluya gas fuera de la parte superior del Lecho 3 hacia adentro de la parte superior del Lecho 1. La Válvula 4 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 4.
- 10 La Válvula 27 permanece abierta y comienza la producción de oxígeno cuando la presión del Lecho 4 alcanza la presión de adsorción.

**Etapa N.º 15**

- 15 Al comienzo de la etapa 15, la Válvula 24 se abre para permitir que el gas producto de purga entre en la parte superior del Lecho 1 mientras la Válvula 10 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 1 a través del Compresor 3. La Válvula 12 permanece abierta para continuar con la evacuación del Lecho 2 a través del Compresor 2. La Válvula 7 se abre para permitir que el Lecho 3 purgue a la atmósfera. La Válvula 4 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 4. La Válvula 27 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 4.
- 20

**Etapa N.º 16**

- Al comienzo de la etapa 16, las Válvulas 17 y 19 se abren para permitir que fluya gas fuera del ET y hacia adentro de la parte superior del Lecho 1. La Válvula 10 se cierra para detener la evacuación del Lecho 1. La Válvula 12 se cierra mientras la Válvula 11 se abre para permitir la evacuación del Lecho 2 a través del Compresor 3. La Válvula 13 se abre para iniciar la evacuación del Lecho 3 a través del Compresor 2. La Válvula 4 permanece abierta para continuar con el flujo del gas de alimentación hacia adentro del fondo del Lecho 4. La Válvula 27 permanece abierta y continúa la producción de oxígeno desde el Lecho 4.
- 25
- 30

En el modo preferido de funcionamiento se utilizan las bombas de vacío centrífuga como de tipo Roots. En el modo preferido, la bomba de vacío de tipo Roots se utiliza en las etapas 8, 9, 10 y 11, mientras que la bomba de vacío centrífuga se utiliza en las etapas 12, 13, 14 y 15 (con referencia a las Figuras 1 y 2 y Tabla 1, para las etapas del Lecho 1 durante el ciclo de PSA).

35

La Tabla 2 ofrece un ejemplo de las condiciones de funcionamiento y del rendimiento del proceso de VPSA utilizando adsorbente selectivo de nitrógeno en los lechos. En las tablas, los símbolos tienen el siguiente significado: TPD = tonelada (2000 lb) por día de oxígeno, kPa = 1000 Pa = unidad S.I. de presión (1,0 atm. = 101,323 kPa, s = unidad de tiempo en segundos). Asimismo, en las tablas, el adsorbente selectivo de equilibrio de nitrógeno es Li-X.

40

Los detalles de los adsorbentes Li-X se proporcionan en las patentes de EE.UU. N.º 6.790.260 (Ackley et al.); 6.743.745 (Jaussaud et al.); 6.506.234 (Ackley et al.); 6.500.234 (Ackley et al.); 6.471.748 (Ackley et al.); 6.027.548 (Ackley et al.); y 6.780.806 (Yang et al.).

**Tabla 2:** Ejemplo de condiciones de funcionamiento y proyecciones de funcionamiento (Figuras 2-4 Ciclo VPSA para producción de oxígeno superior a 175 TPD)

45

Adsorbente en lecho inferior:	Li-X
Composición de corriente de alimentación (N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> /Ar):	78,12 %/20,95 %/0,934 %
Alta presión:	160 kPa
Baja presión:	30 kPa
Corriente de alimentación total:	1,43 X 10 <sup>6</sup> NCFH
Cantidad de O <sub>2</sub> producido:	1,98 X 10 <sup>5</sup> NCFH (196 TPD O <sub>2</sub> )
<b>Pureza de oxígeno:</b>	<b>90 %</b>
<b>Recuperación general de oxígeno:</b>	<b>66 %</b>
Factor tamaño de lecho:	483 lb/TPD O <sub>2</sub>
Temperatura	300 K

Cada uno de los cuatro lechos contiene zeolita Li-X para eliminación de N<sub>2</sub>. Los resultados que se muestran en la Tabla 2 se obtienen de una simulación de PSA utilizando aire seco que contiene 0,934 % de Ar, 78,12 % de N<sub>2</sub> y 20,95 % de O<sub>2</sub>.

50

En modos de funcionamiento alternativos, se podrían utilizar otros procesos y ciclos, p. ej., las Figuras 3-6 muestran

- diagramas de ciclos de columna alternativos para el proceso de VPSA de cuatro lechos con doble bomba de vacío de la Figura 1. En el modo preferido representado en la Figura 2, las etapas 1, 5, 9 y 13 utilizan gas producto para presurizar los lechos además de gas de alimentación. En el modo alternativo representado en la Figura 3, no se utiliza gas producto para presurizar el lecho. En el modo preferido representado en la Figura 2, el lecho en línea de las etapas 3, 7, 11 y 15 proporciona gas de purga a la parte superior del lecho sometido a evacuación. En el modo alternativo representado en la Figura 4, el lecho en línea no proporciona gas de purga. En cambio, se proporciona gas de purga a partir del ET. A continuación, en las etapas 4, 8, 10 y 16 el gas restante en el ET se utiliza para gas de compensación. En el modo preferido representado en la Figura 2, durante las etapas 4, 8, 12, 16 el lecho en línea continúa con la producción de producto. En el modo alternativo representado en la Figura 5, la producción de producto se detiene al inicio de las etapas 4, 8, 12, 16 y, en cambio, el lecho proporciona gas de compensación a la parte superior del lecho que también está recibiendo gas de alimentación en el fondo, p. ej., durante la etapa 4, el Lecho 1 proporciona gas a la parte superior del Lecho 2 mientras el Lecho 2 recibe gas de alimentación del Compresor 1. En el modo alternativo representado en la Figura 6, no hay ET y la compensación se produce de lecho a lecho. En este modo, no hay presurización de producto. En este modo, hay una etapa de presurización de aire durante las etapas 4, 8, 12 y 16, en la cual el aire entra en el fondo de un lecho que está bajo vacío para elevar la presión del lecho a la presión ambiente. El aire podría entrar en los lechos a través de la Válvula 5 para el Lecho 1, la Válvula 6 para el Lecho 2, la Válvula 7 para el Lecho 3, y la Válvula 8 para el Lecho 4 (con referencia a la Figura 1).
- 20 Si bien el proceso de VPSA mencionado se centra en la producción de O<sub>2</sub> a partir de aire utilizando un proceso de cuatro lechos, también se podrían utilizar tres o más de cuatro lechos. Asimismo, cada lecho podría estar constituido por una o varias capas de adsorbentes, o una mezcla de adsorbentes. La configuración adsorbente seleccionada (p. ej., radial, axial, estructurada, etc.), y la elección y disposición de los adsorbentes se determinará según el tamaño del flujo de alimentación, el tipo de fuente de alimentación y las condiciones de funcionamiento del proceso de PSA.
- 25 Ackley et al. en la patente de EE.UU. N.º 6.027.548 proporcionan detalles de adsorbentes apropiados y de la separación por capas de los adsorbentes.

En la aplicación de las diversas formas de realización de la invención, la presión de adsorción más elevada se encuentra en el intervalo de 100 kPa a alrededor de 2000 kPa, y la presión de adsorción más baja se encuentra en el intervalo de 20 kPa y alrededor de 100 kPa. La pureza media del oxígeno producto se encuentra en el intervalo de 85 % de oxígeno a 95 % de oxígeno.

En cualquiera de las formas de realización, se puede colocar una sección de prepurificación (p. ej., una capa de alúmina) en el extremo corriente arriba del lecho de zeolita para eliminar agua y dióxido de carbono del aire de alimentación.

En otros modos de funcionamiento, se podrían utilizar otros adsorbentes en los procesos de PSA de la presente invención antes mencionados. Por ejemplo, se podrían utilizar zeolitas 5A, 13X, y de cationes mezclados como el adsorbente selectivo de N<sub>2</sub> en el proceso de VPSA.

En general, un tanque de compensación está vacío y no contiene ningún material. En la presente invención, el tanque de compensación puede estar vacío o lleno de materiales inertes o adsorbentes. En el caso en el cual el tanque de compensación contiene materiales inertes o adsorbentes, se puede utilizar un tanque de compensación tanto completa como parcialmente lleno. Asimismo, el material de relleno para el tanque de compensación podría ser granos o pastillas o soportes estructurados tales como monolitos, tela metálica de acero inoxidable y espumas de alúmina. Como alternativa, el tanque de compensación puede contener tabiques divisorios en vez de materiales inertes o adsorbentes.

Finalmente, también se podrían utilizar corrientes de alimentación que no sean corrientes de alimentación de aire (p. ej., mezcla de alimentación que contiene H<sub>2</sub> a partir de gas de síntesis generado por reformado de metano con vapor), y el proceso se podría adaptar con cierta facilidad para la producción del producto o productos derivados deseados. Por ejemplo, la coproducción de O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> o H<sub>2</sub> y CO se podría conseguir fácilmente a partir de una corriente de alimentación de aire y una corriente de alimentación que contiene H<sub>2</sub> respectivamente.

Algunos de los beneficios del proceso y sistema de la presente invención incluyen recuperación de O<sub>2</sub> mejorada y menos residuos de PSA que la bomba de vacío ha de manejar; menor distribución de los frentes de concentración de impurezas (p. ej., N<sub>2</sub>); etapas de alimentación y evacuación continuas en el ciclo para alcanzar 100 % de utilización del compresor y dos bombas de vacío; aplicación de gas de pureza en aumento para la purga, lo cual da como resultado una mejor regeneración de los lechos; incorporación de una etapa de despresurización contracorriente en el ciclo de VPSA para permitir que una parte de los residuos (obtenida durante la regeneración del lecho) eluda la bomba de vacío (véanse p. ej., las patentes de EE.UU. N.º 5.656.068 y 6.010.555, donde todos los residuos atraviesan la bomba de vacío); gas de limpieza utilizado para el reflujó, lo cual da como resultado una

concentración de O<sub>2</sub> más marcada o una mejor regeneración del lecho antes de colocar el lecho en línea para la producción de O<sub>2</sub> (véanse, p. ej., las patentes de EE.UU. N.º 5.656.068, 5.997.612 y 6.010.555, donde la distribución excesiva de los frentes de concentración de impurezas son inevitables, lo cual produce una regeneración más agresiva, es decir, una mayor cantidad de gas de reflujo (p. ej., para purga, represurización de producto, etc.));

5 mayor fuerza directriz del gradiente de presión para recuperación de gas de vacío respecto de la técnica anterior (véanse, p. ej., las patentes de EE.UU. N.º 6.010.555 o 5.656.068); menor fuga de corriente de alimentación durante la presurización de corriente de alimentación debido a la presión intermedia mayor en el lecho antes de la introducción del gas de alimentación en el ciclo de VPSA (véanse, p. ej., las patentes de EE.UU. N.º 5.656.068 y 6.010.555, donde el gas recuperado al inicio de la etapa de despresurización a favor de la corriente se envía a otro

10 lecho que está todavía en la etapa de purga, produciéndose a continuación la despresurización a favor de la corriente y la compensación de extremo de alimentación, lo cual da como resultado una menor fuerza directriz para transferencia de masa cuando este lecho se comunica con el otro lecho que se está sometiendo a las etapas de compensación, lavado y presurización de corriente de alimentación simultáneamente; asimismo, se utiliza un gas producto de calidad para la purga seguido del uso de gas del espacio vacío que contiene una mayor concentración

15 de impurezas que contamina el extremo de producto del lecho).

Incluso otro beneficio de la presente invención es que utiliza dos gases de purga de purezas distintas. El gas de purga de alta pureza va directamente a otro lecho sometido a la etapa de purga sin usar ningún tanque de almacenamiento, y el gas de baja pureza proviene de una etapa de despresurización a favor de la corriente que

20 sigue a la etapa de compensación de lecho a tanque. Este gas de baja pureza también va directamente a otro lecho que acaba de completar la última etapa de evacuación contracorriente en el ciclo de VPSA. Las etapas del ciclo de VPSA se disponen de tal forma que el gas de purga de baja calidad se utilice para la purga inicial de los lechos seguida del uso del gas de purga de alta pureza para la purga final de los lechos. Dicho modo de funcionamiento permite el uso de gas de purga de baja pureza para purgar otro lecho a la vez que minimiza la cantidad de gas de

25 alta pureza. Asimismo, este gas de purga va directamente a otro lecho sometido a la etapa de purga sin utilizar un tanque de almacenamiento (véase, p. ej., la patente de EE.UU. N.º 5.997.612).

Además, la presente invención incluye la opción de usar las mismas o distintas bombas de vacío (p. ej., centrífuga y tipo Roots o de desplazamiento positivo) para evacuar los lechos y 100 % de utilización, es decir, sin que una bomba

30 de vacío de compresor descargue en todo el ciclo de PSA.

También se espera que la presente invención ofrezca alrededor de 10-20 % de mejora en la productividad/recuperación de O<sub>2</sub> y 5-10 % de reducción en costes de capital porque utiliza un único compresor de alimentación y dos bombas de vacío de manera eficaz (100 % de utilización), tiene lechos más pequeños y/o menos

35 adsorbentes por unidad de oxígeno producido (factor de tamaño de lecho inferior), y evita el uso de gas producto de calidad para la purga.

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso de adsorción con oscilación de presión al vacío (VPSA) para separar un gas de alimentación que contiene al menos un componente capaz de adsorberse con más fuerza y al menos un  
5 componente de gas producto capaz de adsorberse con menos fuerza, comprendiendo el proceso:
- (a) utilizar un sistema que comprende tres o cuatro lechos adsorbentes en un único tren,
  - (b) alimentar de forma continua un gas de alimentación en un extremo de entrada de corriente de alimentación de un lecho adsorbente, conteniendo dicho lecho al menos un adsorbente que preferentemente adsorbe el componente capaz de adsorberse con más fuerza y eliminar el al menos un componente de gas producto capaz de adsorberse  
10 con menos fuerza de un extremo de salida del lecho adsorbente,
  - (c) proporcionar alimentación continua del gas de alimentación utilizando un soplador de alimentación único,
  - (d) purgar los lechos adsorbentes utilizando dos gases de purga de distinta pureza,
  - (e) producir el componente de gas producto en ciclos mediante etapas donde en un tren que utiliza tres o cuatro lechos, en cualquier momento durante el proceso, dos lechos están en una etapa de evacuación y solo un lecho está  
15 en un modo de alimentación,
  - (f) utilizar un tanque de compensación (ET) para recoger el gas de despresurización a favor de la corriente.
2. El proceso de VPSA de la reivindicación 1, donde el proceso comprende compensación de lecho a lecho y una etapa de presurización en la cual el gas de alimentación se proporciona en el fondo de un lecho  
20 adsorbente.
3. El proceso de VPSA de la reivindicación 1, donde la presión de adsorción más elevada se encuentra en el intervalo de 100 kPa a 2000 kPa y la presión de adsorción más baja se encuentra en el intervalo de 20 kPa a 100 kPa.  
25
4. El proceso de VPSA de la reivindicación 1 que además comprende (g) alimentar de manera continua el gas de alimentación en un extremo de entrada de corriente de alimentación de un lecho adsorbente que contiene al menos un adsorbente que preferentemente adsorbe el componente capaz de adsorberse con más fuerza y eliminar el al menos un componente de gas producto capaz de adsorberse con menos fuerza desde un extremo de  
30 salida del lecho adsorbente en un ciclo de dieciséis etapas siguiendo la tabla de ciclos que se muestra a continuación:

ES 2 688 608 T3

Etapas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Lecho 1	PCA/RP P	HP1	HP2/PP	HP3	CTAb.	PP	DP	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/RP	EV8/R P	CTAr.
Lecho 2	EV6	EV7/RP	EV8/RP	CTAr r.	PCA/RP P	HP1	HP2/PP	HP3	CTAb.	PP	DP	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5
Lecho 3	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/RP	EV8/RP	CTA rr.	PCA/RP P	HP1	HP2/PP	HP3	CTAb.	PP	DP	EV1
Lecho 4	CTAb.	PP	DP	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/RP	EV8/RP	CTA rr.	PCA/RP P	HP1	HP2/R P	HP3
N.º válvula																
1	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2	C	C	C	C	+O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
3	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C
4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O
5	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
6	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C
7	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C
8	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
9	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C
10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
11	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
12	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
13	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
14	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
15	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C



donde HP es Adsorción/Hacer Producto, DP es Despresurización, CTab. es Compensación Tanque Abajo, CTArr. es Compensación Taque Arriba, EV es Evacuación, PCA es Presurización de Corriente de Alimentación, RP es Recibir Purga, RPP es Recibir Presurización de Producto, y PP es Proporcionar Purga.

- 5 5. El proceso de VPSA de la reivindicación 4, donde el al menos un componente capaz de adsorberse con más fuerza comprende nitrógeno u oxígeno.
6. Un sistema de adsorción con oscilación de presión al vacío (VPSA) para separar un gas de alimentación que contiene al menos un componente capaz de adsorberse con más fuerza y al menos un  
10 componente de gas producto capaz de adsorberse con menos fuerza, donde el sistema comprende:
- tres o cuatro lechos adsorbentes en un único tren;
- un tanque de compensación (ET) para recoger gas de vacío que se descarga a favor de la corriente desde los  
15 lechos adsorbentes;
- al menos una bomba de vacío para evacuar dos lechos adsorbentes simultáneamente; y
- un único compresor de alimentación, donde dicho sistema está configurado para recibir de manera continua un gas  
20 de alimentación en el extremo de entrada de corriente de alimentación de un lecho adsorbente, y producir el componente de gas producto en ciclos mediante los cuales, en un tren que utiliza tres o cuatro lechos, en cualquier momento durante el ciclo, dos lechos están en una etapa de evacuación y solo un lecho está en un modo de alimentación.
- 25 7. El sistema de VPSA de la reivindicación 6, donde cada lecho adsorbente comprende una sección de prepurificación situada en el extremo corriente arriba del lecho adsorbente.
8. El sistema de VPSA de la reivindicación 6, donde el sistema está configurado para producir al menos  
30 175 toneladas por día de oxígeno.
9. El sistema de VPSA de la reivindicación 6, donde el sistema comprende cuatro lechos adsorbentes en un único tren.

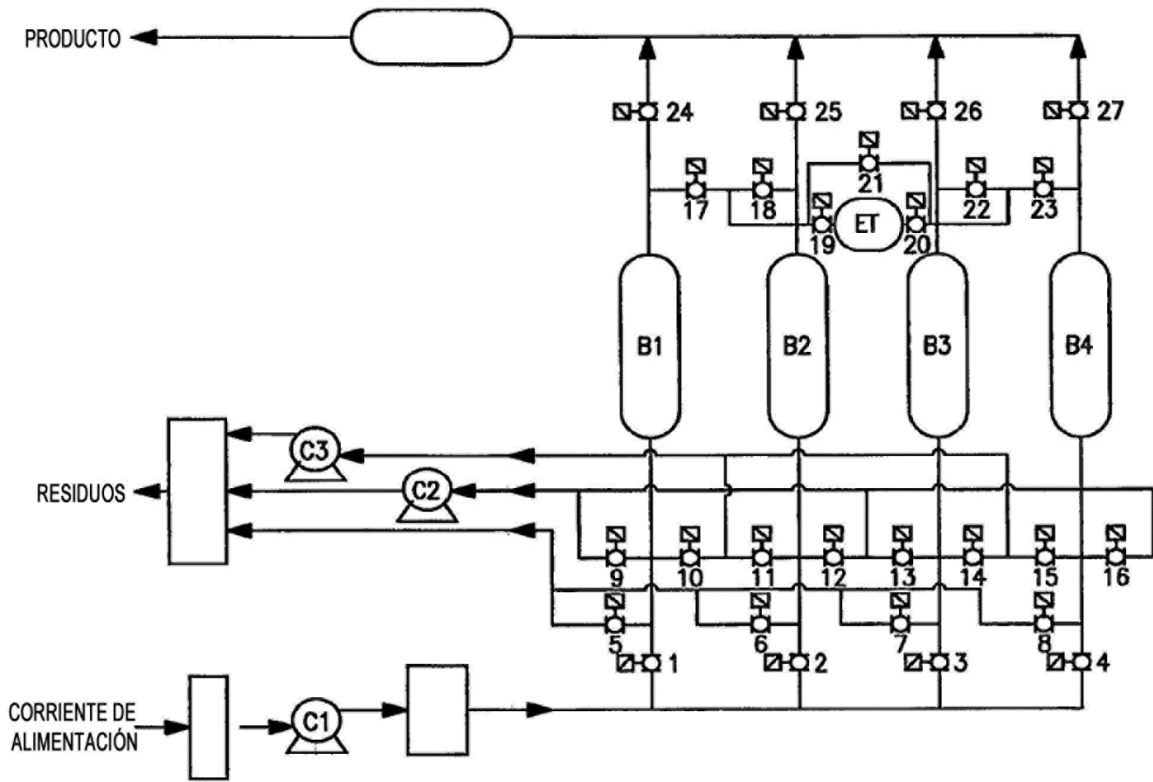
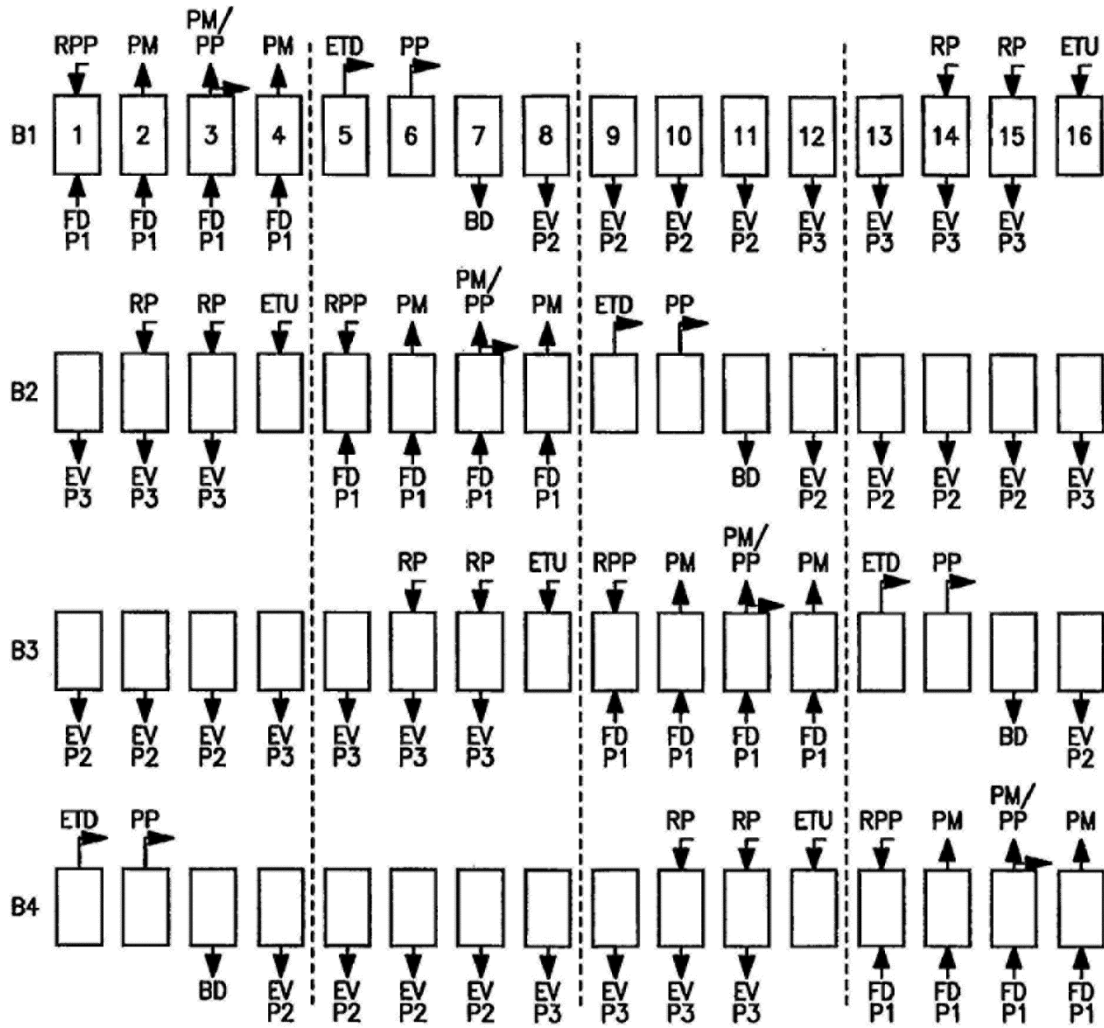


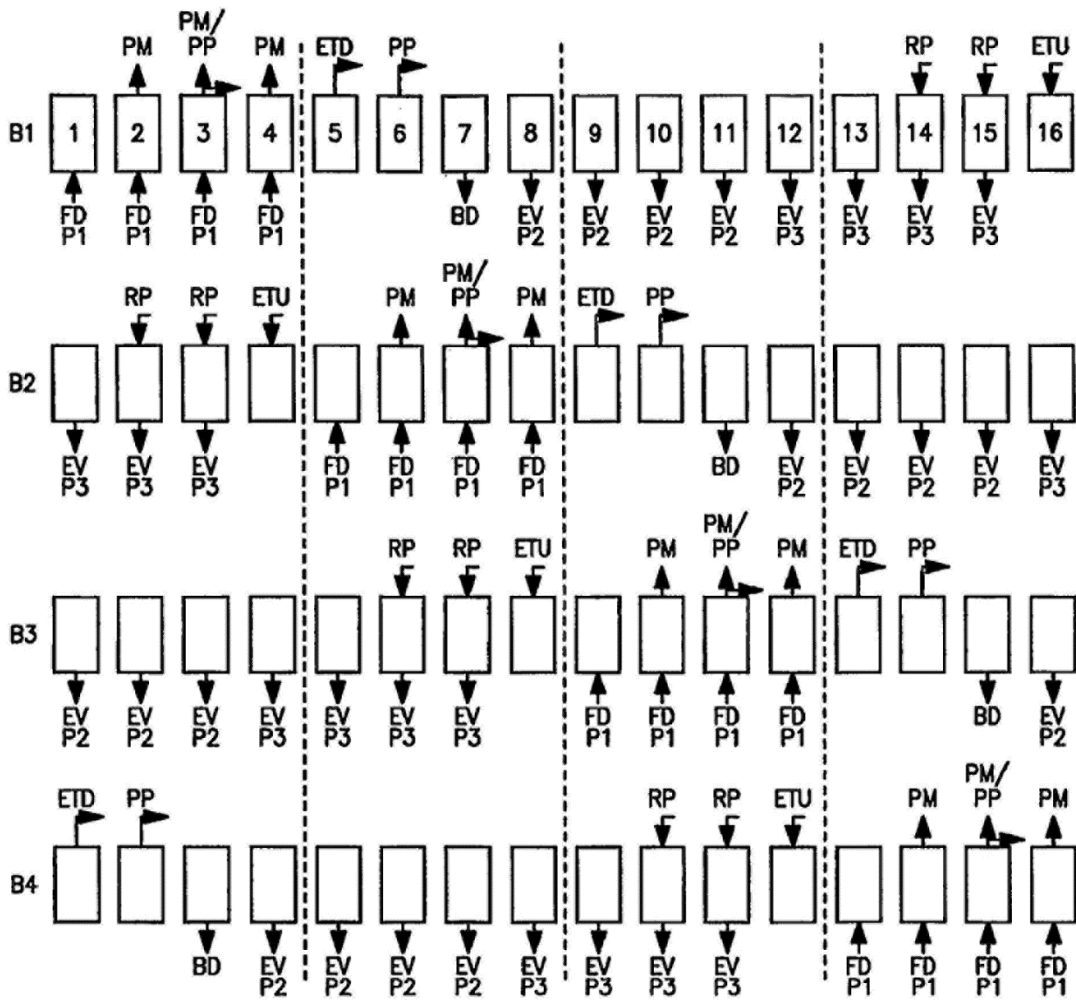
FIG. 1





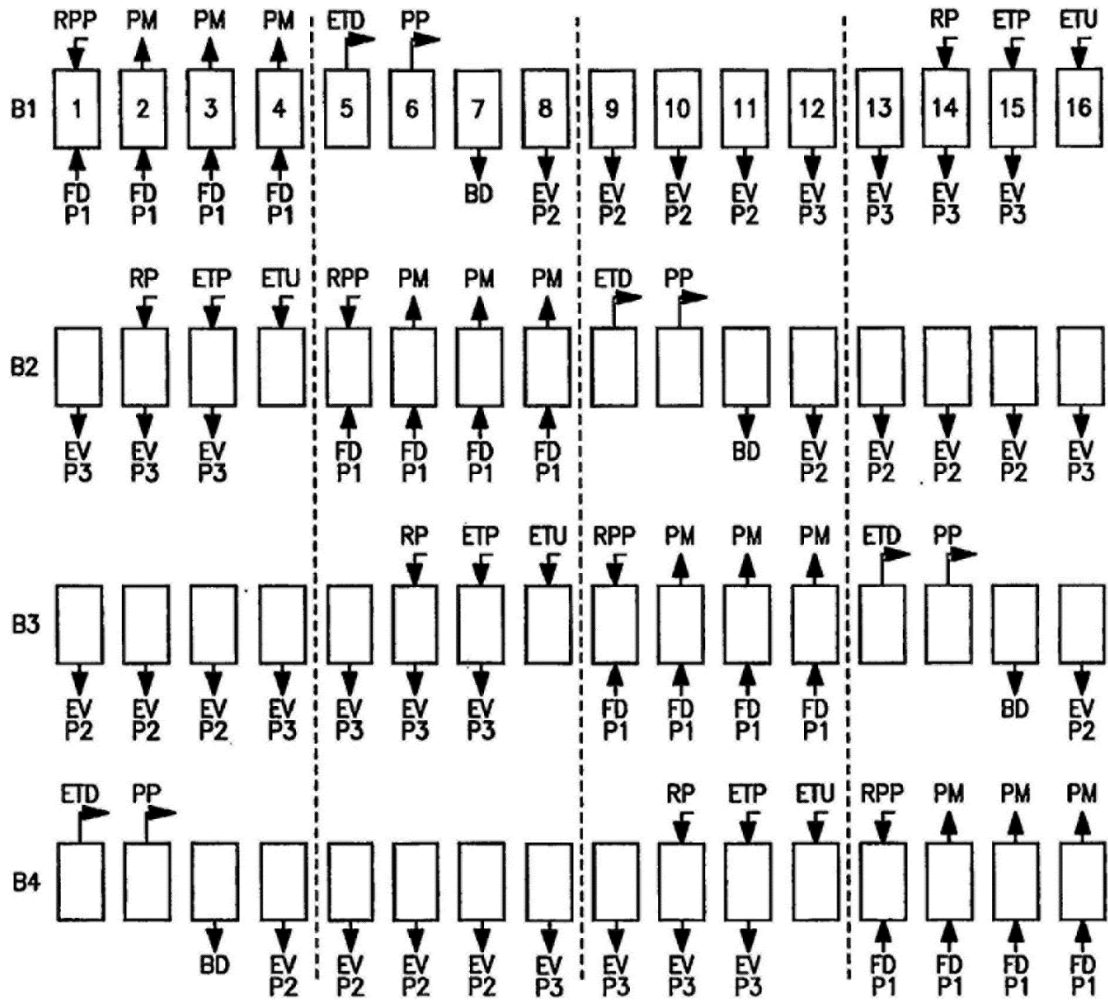
- RPP Recibir Presurización de Producto
- HP Hacer Producto
- PP Proporcionar Purga
- CTAb. Compensación Tanque Abajo
- RP Recibir Purga
- CTArr. Compensación Tanque Arriba
- CA Corriente de Alimentación
- DP Despresurización
- EV Evacuación
- B Bomba

**FIG. 2**



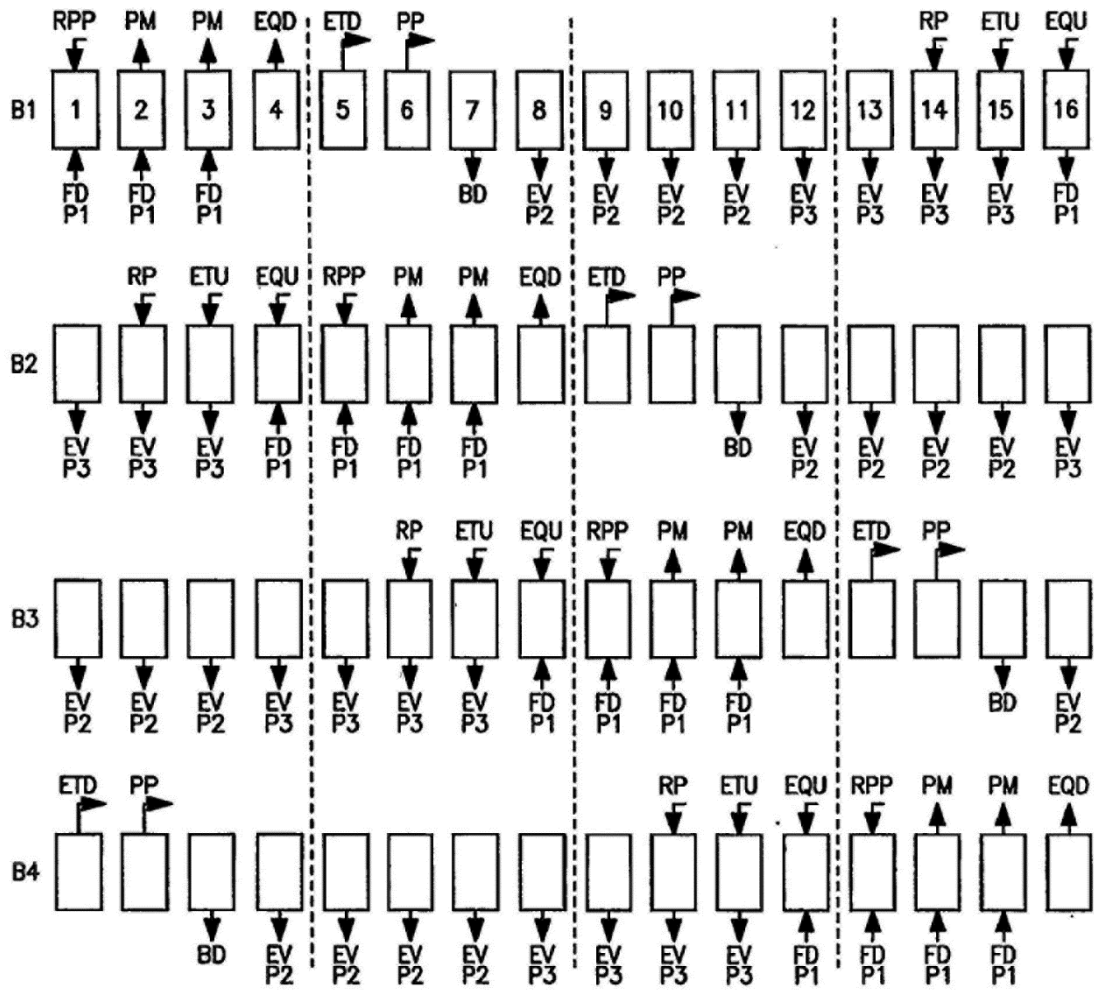
- HP Hacer Producto
- PP Proporcionar Purga
- CTAb. Compensación Tanque Abajo
- RP Recibir Purga
- CTArr. Compensación Tanque Arriba
- CA Corriente de Alimentación
- DP Despresurización
- EV Evacuación
- B Bomba

**FIG. 3**



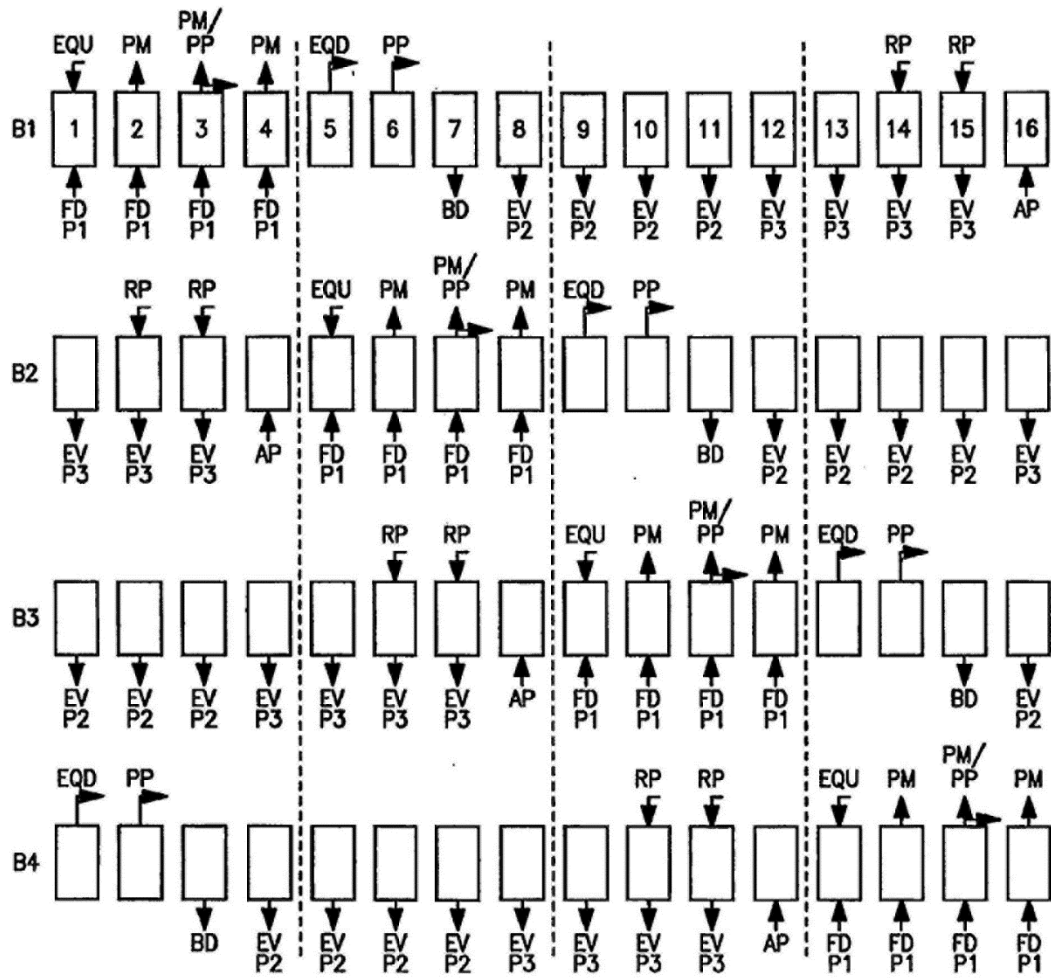
- RPP Recibir Presurización de Producto
- HP Hacer Producto
- PP Proporcionar Purga
- CTAb. Compensación Tanque Abajo
- RP Recibir Purga
- PTC Purga Tanque de Compensación
- CTArr. Compensación Tanque Arriba
- CA Corriente de Alimentación
- DP Despresurización
- EV Evacuación
- B Bomba

FIG. 4



- RPP Recibir Presurización de Producto
- HP Hacer Producto
- PP Proporcionar Purga
- CAb. Compensación hacia Abajo
- CTAb. Compensación Tanque Abajo
- RP Recibir Purga
- CArr. Compensación hacia Arriba
- CTArr. Compensación Tanque Arriba
- CA Corriente de Alimentación
- DP Despresurización
- EV Evacuación
- B Bomba

**FIG. 5**



- HP Hacer Producto
- PP Proporcionar Purga
- CAb. Compensación hacia Abajo
- RP Recibir Purga
- CArr. Compensación hacia Arriba
- CA Corriente de Alimentación
- DP Despresurización
- EV Evacuación
- B Bomba
- PA Presurización de Aire

FIG. 6