

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 831 158**

51 Int. Cl.:

B01D 53/047 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.03.2016** **PCT/FR2016/050651**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2016** **WO16151253**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.03.2016** **E 16718405 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.10.2020** **EP 3274073**

54 Título: **Procedimiento de producción de oxígeno por VPSA**

30 Prioridad:

26.03.2015 FR 1552551

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
07.06.2021

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (100.0%)
75 quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**MONEREAU, CHRISTIAN;
PEREZ, MAXIME;
RODRIGUES, GUILLAUME y
TOULEMONDE, LOUIS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 831 158 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

Procedimiento de producción de oxígeno por VPSA

La presente invención se refiere a un procedimiento de producción de oxígeno por adsorción de un flujo de aire atmosférico utilizando una unidad de tipo VPSA.

- 5 La producción de oxígeno a partir de aire atmosférico por unidades de tipo PSA ha conocido un gran desarrollo a lo largo de los últimos decenios. Las mejoras se han dirigido a los adsorbentes, la tecnología y el propio procedimiento.

En lo que se refiere a los adsorbentes, las unidades más eficaces utilizan actualmente en el seno de un mismo adsorbedor una primera capa destinada a detener la humedad del aire y, al menos parcialmente, el dióxido de carbono. Se trata generalmente de alúmina activada o de alúmina activada dopada que favorece la adsorción del CO₂. En caso de aire particularmente contaminado, al menos una parte de la alúmina activada puede remplazarse con gel de sílice más resistente.

La contención del nitrógeno se realiza preferentemente en una zeolita del tipo LiLSX eventualmente con una pre-capas de zeolita de tipo X para contener el CO₂ residual y comenzar a adsorber el nitrógeno. Se pueden utilizar en capas sucesivas varios tipos de LiLSX, más o menos intercambiados con litio, por ejemplo, y optimizados en función de la presión parcial de nitrógeno en el interior del lecho. Preferentemente, en la zona saturada en nitrógeno al final de la fase de producción, se favorecerá un adsorbente con una capacidad de adsorción elevada mientras que en la zona de transferencia de masa se favorecerá un adsorbente con una constante de Henry grande, teniendo en cuenta los efectos térmicos correspondientes a estas elecciones.

Los diámetros (o diámetros equivalentes en caso de adsorbentes en forma de bastoncillos) están comprendidos generalmente entre 0,5 y 2 mm. La dimensión elegida es función de la duración del ciclo utilizado y es un compromiso entre la cinética y las pérdidas de carga.

El procedimiento propuesto en la presente memoria se basa *a priori* en la utilización de adsorbentes citados anteriormente, pero no se limita a su empleo. En particular, en el caso de unidades que utilizan tiempos de ciclo cortos, inferiores a 15 segundos, por ejemplo, tienen un gran número de adsorbedores, por ejemplo 6 o más, podrá ser necesario utilizar adsorbentes estructurados (contactores de paso paralelo, monolito, ...) con el fin de evitar riesgos de desgaste, fluidización y pérdidas de carga demasiado grandes.

Los progresos tecnológicos han sido muy numerosos. Han afectado a las válvulas que actualmente son más rápidas, más fiables, más estancas frente al medio, las máquinas compresoras de aire y las bombas de vacío especialmente adaptadas por los fabricantes a los parámetros de operación de las unidades de producción de oxígeno, el arrastre mediante motores de velocidad variable, un control más preciso, más eficaz y más rápido. Se han usado varios tipos de adsorbedores según los caudales utilizados o las condiciones económicas locales: adsorbedor cilíndrico con eje vertical a veces utilizado en paralelo hasta formar un conjunto que puede llegar, por ejemplo, hasta 8 unidades similares para caudales mayores (se habla entonces de grupo o de racimo), adsorbedor cilíndrico de eje horizontal, adsorbedor radial. Se han empleado varios sistemas para mantener el adsorbente en su lugar y evitar el desgaste o fluidización (sobrepeso con bolas de cerámica o de acero, membrana, balón, resorte, ...). Se puede incluir en este campo igualmente la gestión de los efectos térmicos con un control de la capacidad térmica de los lechos de adsorbente por unión de materiales inertes, tales como materiales de cambio de fase (MCF). Estos tipos de desarrollos dados de forma no exhaustiva pueden aplicarse en el marco de la invención sin que ello pueda considerarse como una mejora de lo que se propone en la presente memoria.

El último gran campo de mejora es el procedimiento en sí mismo. Por "procedimiento" se entiende aquí a la vez la secuencia de las etapas que sigue un adsorbedor en el transcurso de su funcionamiento y la características de cada una de estas etapas: duración, cantidad de gas transferido, presión, temperatura,...

De forma general, se designa por el término PSA cualquier procedimiento de depuración o de separación de gas que utiliza una variación cíclica de la presión que ve el adsorbente entre una presión elevada, denominada presión de adsorción, y una presión baja, denominada presión de regeneración. Así, esta denominación genérica de PSA se emplea de forma indistinta para denominar los procedimientos cíclicos siguientes, a los que también es también habitual dar nombres más específicos en función de los niveles de presión utilizados o del tiempo necesario para que un adsorbedor vuelva a su punto inicial (tiempo de ciclo):

- los procedimientos VSA en los que la adsorción se realiza casi a la presión atmosférica, preferiblemente entre 0,95 y 1,25 bar absolutos y la presión de desorción es inferior a la presión atmosférica, generalmente de 50 a 400 mbar absolutos;
- los procedimientos MPSA o VPSA en los que la adsorción se realiza a una presión alta superior a la presión atmosférica, generalmente entre 1,5 y 6 bar absolutos, y la desorción a una presión baja inferior a la presión atmosférica, generalmente comprendida entre 200 y 600 mbar absolutos;

- los procedimientos PSA propiamente dichos, en los que la presión alta es sensiblemente superior a la presión atmosférica, típicamente entre 3 y 50 bar absolutos, y la presión baja es casi igual o superior a la presión atmosférica, generalmente entre 1 y 9 bar absolutos;
- los procedimientos RPSA (PSA rápida) para los que la duración del ciclo de presión es generalmente inferior a un minuto;
- los procedimientos URPSA (PSA ultrarrápida) para los que la duración del ciclo de presión es del orden de varios segundos como máximo.

Nótese que estas denominaciones diferentes no están estandarizadas y que los límites pueden variar según los autores.

Con las definiciones anteriores, la invención se refiere tanto a procedimientos VSA como a procedimientos VPSA. Actualmente, teniendo en cuenta los tiempos de ciclo utilizados, se trata igualmente del procedimiento RPSA y eventualmente, en el futuro, del procedimiento URPSA. Con el fin de simplificar el texto, se utilizará a partir de ahora el término VPSA para englobar el campo de aplicación de la invención, tal como se acaba de definir.

Sea cual sea el tipo de PSA, un adsorbedor comienza un periodo de adsorción hasta que se carga con el o los constituyentes que se van a contener a la presión alta y después se va a regenerar por despresurización y extracción de los compuestos adsorbidos antes de ser reacondicionado, en la práctica represurizado, para recomenzar un nuevo periodo de adsorción. El adsorbedor ha realizado entonces un "ciclo de presión" y el principio mismo del procedimiento PSA es el de encadenar estos ciclos uno a continuación del otro; se trata, por lo tanto, de un procedimiento cíclico. El tiempo que necesita un adsorbedor para volver a su estado inicial se denomina tiempo de ciclo. Por principio, cada adsorbedor sigue el mismo ciclo con un desfase temporal que se denomina tiempo de fase o, más sencillamente, fase. Se tiene, por lo tanto, la relación:

Tiempo de fase = tiempo de ciclo / número de adsorbedores, y se ve que el número de fases es igual al número de adsorbedores.

Existen unidades que no comprenden más que un único adsorbedor, mientras que unidades tales como, por ejemplo, las PSA H2 comprenden frecuentemente de 10 a 16 adsorbedores.

Un ciclo comprende generalmente las etapas de:

- Producción o adsorción, en el transcurso de la cual el gas de alimentación se introduce por uno de los extremos del adsorbedor, los compuestos más adsorbibles se adsorben preferentemente y el gas enriquecido en los compuestos menos adsorbibles (gas producto) se extrae por el otro extremo. La adsorción se puede hacer a presión creciente, a presión casi constante e incluso a presión ligeramente descendente;

- Despresurización, en el transcurso de la cual el adsorbedor, que ya no está alimentado con gas de alimentación, es evacuado por al menos uno de sus extremos de una parte de los compuestos contenidos en el adsorbente y los volúmenes libres. Tomando como referencia el sentido de circulación del fluido en periodo de adsorción, se pueden definir despresurizaciones en cocorriente, en contracorriente o simultáneamente en co- y contracorriente;

- Elución o purga, en el transcurso de la cual un gas enriquecido en los constituyentes menos adsorbibles (gas de purga) circula a través del lecho de adsorbente con el fin de ayudar a la desorción de los compuestos más adsorbibles. La purga se hace generalmente en contracorriente;

- Represurización, en el transcurso de la cual el adsorbedor es represurizado, al menos parcialmente, antes de repetir un periodo de adsorción. La represurización se puede hacer en contracorriente y/o en cocorriente, con varios flujos (alimentación, producción, flujos internos en la unidad);

- Tiempo muerto en el transcurso del cual el adsorbedor sigue en el mismo estado. Estos tiempos muertos pueden ser parte integral del ciclo, lo que permite la sincronización de las etapas entre los adsorbedores o formar parte de una etapa que finaliza antes del tiempo atribuido. Las válvulas pueden estar cerradas o permanecer en el estado según las características del ciclo.

La despresurización y la represurización se pueden realizar de varias formas, sobre todo cuando la unidad de PSA comprende varios adsorbedores (o capacidades). Así, se tienen que definir etapas elementales para describir más exactamente las transferencias gaseosas que intervienen entre los adsorbedores (o capacidades) y con el medio exterior (circuitos de alimentación, de gas producto, de gas residual a baja presión).

Por el documento EP0948989 A1, se conoce un adsorbedor de un VPSA que experimenta una etapa de represurización con oxígeno.

El número de adsorbedores es relativamente independiente de la secuencia de etapas elegido, es decir: del ciclo. La utilización de varios adsorbedores permite utilizar directamente un flujo producto de un primer adsorbedor en un

segundo adsorbedor solo con que las etapas en cuestión sean simultáneas. Por lo tanto, permite evitar el empleo de capacidades intermedias y aprovechar mejor los gradientes de presión. Esto puede permitir también optimizar el funcionamiento de las máquinas, hacer que la producción sea continua,...

5 Como se verá a continuación, actualmente hay al menos unidades VPSA que comprenden 1, 2, 3 ó 4 adsorbedores. Igualmente se pueden utilizar, en paralelo, 2 – o más – unidades de este tipo compartiendo eventualmente algunos equipos (filtro de aire, silencioso, capacidad de producción, ... puestos en común).

10 Contrariamente a muchos procedimientos, en el caso de la producción de oxígeno, la materia prima, es decir el aire atmosférico, es gratuito y el consumo energético de la unidad es uno de los puestos preponderantes en el coste de producción de oxígeno. Debido a esto, la mínima ganancia en energía específica, para una inversión constante, es interesante ya que afecta directa y sensiblemente a los costes de producción.

Esto se traduce de hecho por la existencia de un gran número de ciclos que a menudo solo se diferencian en una gestión un poco diferente de los flujos que entran o salen, o en una adaptación un poco diferente de la disposición de las etapas al número de adsorbedores utilizados.

15 La utilización de programas de simulación cada vez más eficaces permite en la actualidad explorar y comparar un gran número de variantes, y el aumento progresivo de los caudales disminuyendo el coste relativo de la inversión permite, con un coste razonable, una mayor complejidad en la gestión de los flujos.

20 De la misma forma, la mejora de la cinética de transferencia de materia o de calor asociada bien con el progreso en los adsorbentes (aumento de la cinética intrínseca) o bien con la posibilidad de utilizar partículas de dimensiones menores relacionada con los desarrollos relativos a los adsorbedores (por ejemplo, adsorbedor radial, monolito, ...) permite acortar la duración de los ciclos y, a partir de ahí, el tamaño de los adsorbedores.

Por todas estas razones (materia prima gratuita, menor peso de la inversión), el consumo energético tiene una importancia cada vez más preponderante.

A partir de aquí, se plantea un problema que es el de suministrar un procedimiento mejorado que presente un ciclo energéticamente eficaz.

25 Una solución según la invención es un procedimiento de producción de oxígeno por adsorción de un flujo de aire atmosférico que utiliza una unidad de tipo VPSA, que comprende al menos un adsorbedor, estando sometido cada adsorbedor a un mismo ciclo de presión, que comprende las etapas siguientes:

- a) producción de un primer flujo gaseoso rico en oxígeno que comprende un contenido de oxígeno T_1 , cargando anteriormente el adsorbedor del flujo de aire atmosférico,
- 30 b) producción de un segundo flujo gaseoso rico en oxígeno que comprende un contenido de oxígeno $T_2 < T_1$,
- c) producción de un tercer flujo gaseoso rico en oxígeno que comprende un contenido de oxígeno $T_3 < T_2 < T_1$, con extracción simultánea de un flujo residual enriquecido en nitrógeno,
- d) elución del adsorbedor, del cual se extraen los tres flujos gaseosos producidos en las etapas a), b) y c), por medio exclusivamente del segundo flujo gaseoso producido en la etapa b),
- 35 e) represurización del adsorbedor que ha experimentado la elución de la etapa d) sucesivamente con al menos dos flujos, un primer y un segundo flujo de represurización, con un contenido creciente de oxígeno, siendo el primer flujo de represurización el tercer flujo gaseoso producido en la etapa c) y siendo el segundo flujo de represurización el segundo flujo gaseoso producido en la etapa b).

40 El ciclo de presión utilizado en el marco de la presente invención se puede utilizar con 1, 2, 3 y 4 adsorbedores y más generalmente con N adsorbedores por medio de algunas modificaciones, tales como la anexión de capacidades para el almacenamiento temporal de algunos flujos.

Según el caso, el procedimiento según la invención puede presentar una o varias de las características siguientes:

- la producción del segundo flujo gaseoso en la etapa b) se realiza por despresurización en cocroriente,
- la producción del segundo flujo gaseoso en la etapa b) se realiza en dos tiempos, un primer tiempo durante el que la producción se realiza por despresurización en cocroriente combinada con una despresurización en contracorriente,
- 45 - la despresurización en contracorriente se realiza por medio de una válvula,
- la etapa e) de represurización se realiza sucesivamente con 3 flujos, un primer, un segundo y un tercer flujo de represurización, con un contenido creciente de oxígeno, siendo el primer flujo de represurización el tercer flujo gaseoso producido en la etapa c), siendo el segundo flujo de represurización el segundo flujo gaseoso producido en la etapa b) y siendo el tercer flujo de represurización el primer flujo gaseoso producido en la etapa a),
- 50

- la presión al final de la etapa a) está comprendida entre 1,75 y 1,25 bar, preferentemente entre 1,55 y 1,45 bar, la presión al final de la etapa b) está comprendida entre 1,5 y 1,0 bar, preferentemente entre 1,30 y 1,20, la presión al final de la etapa c) está comprendida entre 1,0 y 0,7 bar, preferentemente entre 0,90 y 0,80 y la presión baja del ciclo de presión está comprendida entre 0,25 y 0,45 bar, preferentemente entre 0,40 y 0,30.
- 5 - la duración del ciclo de presión es inferior a 60 segundos, preferentemente comprendida entre 15 y 45 segundos,
- la unidad de tipo VPSA comprende N adsorbedores o N grupos de adsorbedores siguiendo cada adsorbedor n o cada grupo de adsorbedores n el ciclo de presión con un retraso de un tiempo de fase con respecto al ciclo de presión del adsorbedor n-1, siendo $n \leq N$,
- N está comprendido entre 1 y 4.
- 10 La solución propuesta en la presente memoria es más sencilla que las soluciones de la técnica anterior, ya que no conduce más que a la producción de tres flujos de pureza decreciente y además difiere en cuanto a la utilización de estos flujos en el ciclo. La elución se realiza totalmente con una parte del flujo producido en la etapa b), mientras que la represurización se realiza usando sucesivamente los flujos producidos de pureza creciente.
- 15 El ciclo propuesto en el marco de la presente invención se caracteriza, por lo tanto, por las secuencias i, i+1, i+2 en el transcurso de las que la unidad produce 3 flujos sucesivos ricos en oxígeno y de pureza decreciente. La etapa i corresponde a la etapa a) y, por lo tanto, a la producción propiamente dicha con una pureza media T1 que corresponde generalmente a la especificación solicitada por el cliente, por ejemplo, 93% en volumen de O₂. Durante esta etapa, el adsorbedor se alimenta de aire mediante una unidad de compresión de aire (C-aire).
- 20 La etapa denominada i+1 corresponde a la etapa b) y, por lo tanto, a la producción de un segundo flujo rico en oxígeno pero de pureza media T2 inferior a la precedente, por ejemplo 91% en volumen de O₂. Esta fracción se puede producir con o sin introducción de aire en el otro extremo del adsorbedor. Más precisamente, el adsorbedor puede estar aislado del lado del aire y la fracción de oxígeno se produce por descompresión en cocorriente, o el aire se puede introducir durante únicamente una fracción de esta etapa o durante toda la duración de la etapa, con un caudal nominal o reducido. También se puede trasvasar simultáneamente, durante la totalidad o solo una parte de la etapa por
- 25 despresurización en contracorriente de un flujo rico en nitrógeno.
- 30 La etapa denominada i+2 corresponde a la etapa c) y, por lo tanto, a la producción de un tercer flujo rico en oxígeno de pureza media T3 inferior a la precedente, por ejemplo a 89% en volumen de O₂. Este flujo se obtiene por una descompresión en cocorriente simultánea con una descompresión en contracorriente destinada a extraer simultáneamente del adsorbedor un flujo rico en nitrógeno. Según el nivel de presión, esta descompresión en contracorriente se puede hacer mediante una válvula y/o mediante una bomba de vacío. En la práctica, se trata al menos al final de la etapa de un bombeo a vacío y se ha adoptado por simplificación la representación [BDV] para indicar estas diferentes posibilidades, indicándose BDV por "bomba de vacío" y significando la presencia de los corchetes que la etapa de bombeo a vacío no es obligatoria.
- 35 La gestión en el ciclo de estas diferentes fracciones de oxígeno producidas se caracteriza por la secuencia de las siguientes secuencias:
- La etapa j corresponde a una etapa de bombeo a vacío sencillo para extraer el nitrógeno. El lado de la producción del adsorbedor está aislado.
- A etapa j+1 corresponde a una etapa de elución con bombeo. Se introduce un gas rico en oxígeno del lado de la producción simultáneamente al bombeo. La presencia de oxígeno facilita la desorción del nitrógeno.
- 40 Las etapas j+2, j+3 y j+4 son etapas de represurización del adsorbedor.
- La elución de la etapa j+1 se hace únicamente con el gas producido en la etapa b), correspondiente a la etapa i+1 que se ha definido anteriormente.
- 45 Por su parte, la represurización se hace en etapas sucesivas con flujos de pureza creciente en oxígeno: un primer flujo de represurización que es el tercer flujo gaseoso producido en la etapa c), un segundo flujo de represurización que es el segundo flujo gaseoso producido en la etapa b) y eventualmente un tercer flujo de represurización que es el primer flujo gaseoso producido en la etapa a). Siguiendo las condiciones de operación, el aporte de la tercera represurización puede ser pequeño y se podrá evitar por simplificación. Esto es lo que significa en este caso la presencia de corchetes [T1].
- 50 Existen varias maneras de representar de forma sintética los ciclos de una unidad de tipo PSA. En este caso se va a utilizar el método de las tablas en las que cada etapa elemental figura en una casilla. Se puede definir el ciclo describiendo la totalidad de las etapas que hace un adsorbedor durante un ciclo. Preferentemente, se representan una debajo de otra la descripción de las diferentes fases que siguen simultáneamente los diferentes adsorbedores. Si se quiere ser exhaustivo, se describe el funcionamiento de cada adsorbedor uno debajo de otro. Cada casilla define una etapa con un epígrafe abreviado (Prod., Eq., Purga,...). Esta representación es muy compacta y muy práctica. Sin

embargo, en el momento en que un flujo entra o sale en varias utilidades, este método pierde claridad ya que se hace difícil definir de forma sencilla la etapa correspondiente. Sin embargo, este sigue siendo el método más utilizado en la actualidad.

- 5 En la presente memoria se utiliza un método intermedio en forma de tabla donde para cada etapa se definen los flujos que entran y que salen del adsorbedor. Este método ya ha sido usado de una forma un poco diferente. Así, por ejemplo:

Prod
↑
1
↑
C-aire

significa que el adsorbedor está en la etapa 1, que recibe como alimentación un flujo producto de un compresor (c-aire), siendo este flujo en el marco de la invención de aire atmosférico. El flujo que corresponde a la producción (Prod) sale por el extremo opuesto del adsorbedor.

X
X
J
↓
BDV

- 10 significa que la etapa j es una etapa de puesta a vacío sencilla mediante una bomba de vacío unida al extremo de alimentación mientras que el lado de la producción está cerrado (X).

Se dejan las dos casillas de arriba y de abajo vacías si lo que pasa respectivamente del lado de la producción o del lado de la alimentación no está formalmente definido o si no es necesario definirlo en este momento para una buena comprensión del ciclo, es decir, por ejemplo, que el hecho de que haya una extracción, una inyección de gas o que el extremo esté aislado no es característico de la etapa en cuestión y que todos los casos son posibles, incluso su combinación, por ejemplo una inyección seguida de una extracción.

- 15

La familia de ciclos relativa a la presente invención se puede caracterizar, por lo tanto, por la tabla siguiente, significando las columnas que se han dejado libres que, además de las 8 etapas descritas, puede haber etapas adicionales como las correspondientes a un cambio de la bomba de vacío, una represurización final simplemente con aire, ...

- 20

	T1 (Prod)	T2	T3		X	T2	T3	T2	[T1] [Prod]
	↑	↑	↑		X	↓	↓	↓	↓
	i	I+1	I+2		J	J+1	J+2	J+3	J+4
	↑		↓		↓	↓			
	C-aire		[BDV]		BDV	BDV			

Según un modo de realización, la producción de un segundo flujo gaseoso rico en oxígeno según la etapa b) se hace simplemente por despresurización en cocorriente, correspondiente a las etapas características siguientes:

	T1 (Prod)	T2	T3		X	T2	T3	T2	[T1] [Prod]
	↑	↑	↑		x	↓	↓	↓	↓
	i	l+1	l+2		J	J+1	J+2	J+3	J+4
	↑	x	↓		↓	↓			
	C-aire	X	BDV		BDV	BDV			

Según otro modo de realización, la producción del segundo flujo gaseoso rico en oxígeno según la etapa b) se hace en dos sub-etapas, en primer lugar por simple despresurización en cocrriente y después siempre por despresurización en cocrriente pero simultáneamente con una despresurización en contracorriente, preferentemente hacia la atmósfera mediante una válvula. Este último funcionamiento corresponde a las sub-etapas características siguientes k-a y k-b, referidas a la producción del flujo de pureza Pur2, sub-etapas que se sustituyen por la etapa i+1 en la tabla anterior.

T2	
↑	↑
k-a	k-b
x	↓
X	ATM

Según un modo de realización no representativo de la invención, la represurización inicial del adsorbedor con el tercer flujo gaseoso producido en la etapa c) se realiza simultáneamente con la introducción de aire en cocrriente del lado de la alimentación durante toda o parte de esta etapa. Como el adsorbedor está a vacío, esta introducción de aire se puede hacer directamente a partir de la atmósfera a través de una válvula. Se puede tratar de una válvula todo o nada o de una válvula cuya apertura evoluciona a lo largo de la etapa. La apertura solo se puede realizar durante la etapa mediante un temporizador o un umbral de presión. Esta apertura forma parte de los parámetros que se deben optimizar. Los programas de simulación más eficaces permiten determinar las tendencias que hay que respetar. Los ajustes *in situ* pueden permitir perfeccionar las características de la apertura. Como no hay obligación de pasar por la bomba de vacío y la inyección de aire puede ser reducida o incluso nula, se ha adoptado para representar estas posibilidades de funcionamiento la representación [ATM], por lo que las etapas representativas:

	T1 (Prod)	T2	T3		X	T2	T3	T2	[T1] [Prod]
	↑	↑	↑		x	↓	↓	↓	↓
	i	l+1	l+2		J	J+1	J+2	J+3	J+4
	↑	x	↓		↓	↓	↑		
	C-aire	X	[BDV]		BDV	BDV	[ATM]		

Según otro modo de realización preferente, la represurización del adsorbedor con el segundo flujo gaseoso producido en la etapa b) se realiza simultáneamente con la introducción de aire en cocrriente de lado de a alimentación durante toda o parte de esta etapa y preferentemente durante toda la etapa. Como el adsorbedor está a vacío, la mayor parte de la represurización con aire se puede hacer directamente a partir de la atmósfera a través de una válvula. Se puede tratar de una válvula todo o nada o de una válvula cuya apertura evoluciona a lo largo de la etapa. La apertura solo se

puede realizar durante la etapa mediante un temporizador o un umbral de presión. Esta apertura forma parte de los parámetros que se deben optimizar. Como se ha dicho anteriormente, el aire se introduce preferentemente durante toda esta etapa y la representación correspondiente es entonces la siguiente:

	T1 (Prod)	T2	T3		X	T2	T3	T2	[T1] [Prod]
	↑	↑	↑		x	↓	↓	↓	↓
	i	l+1	l+2		J	J+1	J+2	J+3	J+4
	↑	x	↓		↓	↓	↑	↑	
	C-aire	X	[BDV]		BDV	BDV	[ATM]	ATM	

- 5 Según una variante no representativa de la invención, la represurización del adsorbedor con el tercer flujo gaseoso producido en la etapa a) se realiza simultáneamente con la introducción de aire en cocorriente del lado de la alimentación. Teniendo en cuenta el ciclo de presión, esta represurización eventual se desarrolla a aproximadamente la presión atmosférica o totalmente por encima de la presión atmosférica. Por lo tanto, es necesario utilizar un medio de compresión (C-aire) para introducir el aire atmosférico en el adsorbedor.

	T1 (Prod)	T2	T3		X	T2	T3	T2	[T1] (Prod)
	↑	↑	↑		x	↓	↓	↓	↓
	i	l+1	l+2		J	J+1	J+2	J+3	J+4
	↑	x	↓		↓	↓	↑	↑	↑
	C-aire	X	[BDV]		BDV	BDV	[ATM]	ATM	C-aire

- 10 La producción de oxígeno (etapa i) sigue por lo tanto inmediatamente a la represurización con el flujo rico en oxígeno (etapa j+4). En la práctica, puede haber aquí justamente una inversión del sentido de circulación del oxígeno cuando la presión en el adsorbedor sobrepase la presión del circuito de oxígeno.

- 15 Según un modo de realización preferente, el ciclo comprende además una represurización final del adsorbedor únicamente con la introducción de aire del lado de la alimentación. Esta etapa precede entonces a la etapa de producción de oxígeno de pureza T1. La duración de esta etapa está determinada por un temporizador o mediante un umbral de presión. El aire se introduce a partir del compresor de aire, C-aire, ya que el adsorbedor está a una presión superior a la presión atmosférica al menos al final de la etapa. Esta etapa se sitúa después de la etapa de represurización usando el flujo de pureza T2 o después de la etapa eventual de represurización con gas de pureza T1, proveniente de la producción.

- 20 Se obtienen entonces respectivamente las dos variantes siguientes:

	T1 (Prod)	T2	T3		X	T2	T3	T2	X
	↑	↑	↑		x	↓	↓	↓	x
	i	l+1	l+2		J	J+1	J+2	J+3	J+4
	↑	x	↓		↓	↓	↑	↑	↑

	C-aire	X	[BDV]		BDV	BDV	[ATM]	ATM	C-aire

y

X	T1 (Prod)	T2	T3		X	T2	T3	T2	[T1] (Prod)
X	↑	↑	↑		X	↓	↓	↓	↓
i-1	i	i+1	i+2		J	J+1	J+2	J+3	J+4
↑	↑	X	↓		↓	↓	↑	↑	↑
C-aire	C-aire	X	[BDV]		BDV	BDV	[ATM]	ATM	C-aire

La elección de la presión alta del ciclo, mientras permanezca en un intervalo relativamente restringido de presión, puede depender de la utilización que se haga del oxígeno. Si es posible usar la producción directamente, es decir sin ane-
 5 xión de una máquina de compresión, se hará de forma que se disponga de oxígeno a la presión adecuada. Si no, la mejor presión se determinará mediante una optimización unidad VSA O₂/medio de compresión O₂, la cual quedará generalmente en el intervalo que va de 1,25 a 1,75 bar. La elección de la presión baja, siempre en un intervalo de presión limitado, será función a la vez de la elección de la (o de las) máquina(s) de bombeo y de la optimización económica inversión/energía. Una presión un poco más baja tiende a disminuir el volumen de adsorbente que se utiliza, pero en detrimento del consumo energético. El intervalo considerado en el marco de la invención va de 0,25 a
 10 0,45 bar.

Las presiones intermedias entre las presiones alta y baja se determinan por optimización, una vez elegidos el ciclo de presión y la secuencia de las etapas.

Así, según un modo de realización elegido que entra en el marco de la invención, la presión al final de la etapa a) está comprendida entre 1,25 y 1,75 bar, la presión al final de la etapa b) está comprendida entre 1,5 y 1,0 bar, la presión al
 15 final de la etapa c) está comprendida entre 1,0 y 0,7 bar y la presión baja del ciclo está comprendida entre 0,25 y 0,45 bar.

Según un modo de realización preferentemente, la presión al final de la etapa a) es de aproximadamente 1,5 bar, la presión al final de la etapa b) es de aproximadamente 1,25 bar, la presión al final de la etapa c) es de aproximadamente 0,85 bar y la presión baja del ciclo es de aproximadamente 0,35 bar.

20 Por aproximadamente se entiende a más o menos 50 mbar y preferentemente a más o menos 25 mbar.

Como se ha indicado anteriormente, este ciclo se puede realizar *a priori* con un número cualquiera de adsorbedores, pero las unidades más adaptadas comprenderán 1, 2, 3 ó 4 adsorbedores.

Según un modo de realización, la unidad VPSA comprende, por lo tanto, 1 adsorbente que sigue el ciclo de 8 etapas siguiente:

T1 (Prod)	T2	T3	X	T2	T3	T2	[T1] [Prod]
↑	↑	↑	X	↓	↓	↓	↓
1 (i)	2 (i+1)	3 (i+2)	4 (J)	5 (J+1)	6 (J+2)	7 (J+3)	8 (J+4)
↑	X	↓	↓	↓	↑	↑	↑
C-aire	X	BDV	BDV	BDV	[ATM]	ATM	C-aire

Preferentemente la etapa b), es decir 2 en la tabla anterior, comprenderá un primer tiempo 2-i durante el que la producción se realiza por despresurización en cocorriente y un segundo tiempo 2-ii durante el que la producción se realiza mediante una despresurización en cocorriente combinada con una despresurización en contracorriente.

El ciclo correspondiente se puede representar como sigue:

T1 (Prod)	T2		T3	X	T2	T3	T2	X
↑	↑	↑	↑	x	↓	↓	↓	x
1 (i)	2-i (i+1)	2-ii (i+1)	3 (i+2)	4 (J)	5 (J+1)	6 (J+2)	7 (J+3)	8 (i-1)
↑	x	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑
C-aire	X	ATM	BDV	BDV	BDV	ATM	ATM	C-aire

5 Este ciclo, como el anterior, comprende 3 capacidades tampón, correspondientes a cada una de las purezas.

Este ciclo se diferencia muy notablemente de los otros ciclos propuestos por una unidad con un solo adsorbedor. El documento US 6132496 describe en particular una unidad con un adsorbedor, una única máquina que hace funciones de compresor y de bomba de vacío y 3 capacidades como los ciclos según la presente invención. La elución se hace en los dos casos por el gas de segunda pureza T2 pero la represurización del lado del oxígeno se hace exclusivamente con gas procedente de la producción T1; no hay ni gas de 3ª pureza, ni represurización progresiva con gases de pureza creciente. Todos los otros ciclos de tipo mono-adsorbedor funcionan *a priori* con una o dos capacidades tampón únicamente y, por lo tanto, utilizan flujos diferentes.

Según otro modo de realización, la unidad VPSA comprende 2 adsorbedores.

Para simplificar el seguimiento del ciclo se ha elegido como primera etapa el principio de la represurización. Sin embargo, se podría comenzar por otra etapa sin cambiar el principio.

En el mismo sentido, cada fase comprende el mismo número de etapas, en este caso 5. Esto no es una obligación y, por ejemplo, las etapas 7 y 8 por una parte y las 9 y 10 por otra parte podrían reagruparse en una sola.

T3	T2	[T1]	T1 (Prod)	T2	T3	X	X	T2	T2
↓	↓	↓	↑	↑	↑	x	x	↓	↓
1 (J+2)	2 (J+3)	3 (J+4)	4 (i)	5 (i+1)	6 (i+2)	7 (J)	8 (J)	9 (J+1)	10 (J+1)
↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓
(Atm)	Atm	C-aire	C-aire	[C-aire]	BDV	BDV	BDV	BDV	BDV

La unidad comprende un compresor de aire que puede ser de funcionamiento continuo (etapas 1 a 5) o discontinuo.

La bomba de vacío está en funcionamiento continuo (etapas 6 a 10).

20 El ciclo necesita al menos 2 capacidades tampón para organizar los flujos de producción (T1) y de segunda pureza (T2). Una parte de los flujos producidos se usará ventajosamente de forma simultánea, almacenándose únicamente la parte no utilizada.

El ciclo preferente se caracteriza por el hecho de que no hay introducción de aire durante la etapa de producción del flujo de oxígeno de segunda pureza; como se ha explicado anteriormente, el interés de la introducción de oxígeno durante la etapa de represurización final (etapa 3) va a depender en parte del tipo de adsorbedores utilizados. Podrá ser inútil para un adsorbedor cilíndrico de eje vertical (o para un grupo de adsorbedores de este tipo) que presente un pequeño volumen muerto de oxígeno y, por el contrario, tener un efecto positivo en el caso de un adsorbedor radial que comprende un volumen muerto de oxígeno grande, por ejemplo 30% del volumen del adsorbente.

Según la convención indicada, el ciclo que corresponde para dicho absorbedor se representa como sigue:

T3	T2	T1	X	T1 (Prod)	T2	T3 ↑	X	X	X	T2	T2
↓	↓	↓	X	↑	↑		X	X	X	↓	↓
1 (J+2)	2 (J+3)	3 (J+4)	4 (i-1)	5 (i)	6 (i+1)	7 (i+2)	8 (J)	9 (J)	10 (J)	11 (J+1)	12 (J+1)
↑	↑	↑	↑	↑	X	↓	↓	↓	↓	↓	↓
(Atm)	Atm	C-aire	C-aire	C-aire	X	BDV	BDV	BDV	BDV	BDV	BDV

Se recuerda que durante la etapa 1, la represurización con el flujo de oxígeno de pureza Pur3 puede ir acompañada de una represurización en cocorriente con aire atmosférico, represurización que puede comenzar en el transcurso de la etapa.

- 5 Según otro modo de realización, la unidad de VPSA comprende 3 absorbedores.

Un ciclo característico de la invención se representa a continuación:

	T1 (Prod)	T2	T3	X	T2	T3	T2	[T1] [Prod]
	↑	↑	↑	X	↓	↓	↓	↓
1	2 (i)	3 (i+2)	4 (i+3)	5 (J)	6 (J+1)	7 (J+2)	8 (J+3)	9 (J+4)
↑	↑	X	↓	↓	↓	↑	↑	↑
C-aire	C-aire	X	BDV	BDV	BDV	[ATM]	ATM	C-aire

Se han detallado ciclos correspondientes a 1, 2 y 3 adsorbedores, pero es fácil para el experto en la técnica a partir de las explicaciones suministradas adaptar este ciclo a un número cualquiera de adsorbedores, por ejemplo para 6 adsorbedores, a partir de la última tabla que reagrupa así las etapas: 9+1/2/3+4/5/6/7+8, lo que solo constituye una de las posibilidades.

Para los ciclos que comprenden 1 a 4 adsorbedores, se utilizan preferentemente adsorbentes particulares (bolas, bastoncillos, piedra machacada). Y para los ciclos que comprenden más de 4 adsorbedores, se utilizan preferentemente adsorbentes estructurados.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de producción de oxígeno por adsorción de un flujo de aire atmosférico que utiliza una unidad de tipo VPSA que comprende al menos un adsorbedor, estando sometido cada adsorbedor al mismo ciclo de presión que comprende las etapas siguientes:

- 5 a) producción de un primer flujo gaseoso rico en oxígeno que comprende un contenido de oxígeno T_1 , cargando anteriormente el adsorbedor del flujo de aire atmosférico,
- b) producción de un segundo flujo gaseoso rico en oxígeno, que comprende un contenido de oxígeno $T_2 < T_1$,
- c) producción de un tercer flujo gaseoso rico en oxígeno, que comprende un contenido de oxígeno $T_3 < T_2 < T_1$, con extracción simultánea de un flujo residual enriquecido en nitrógeno,
- 10 d) elución del adsorbedor, del cual se extraen los tres flujos gaseosos producidos en las etapas a), b) y c), por medio exclusivamente del segundo flujo gaseoso producido en la etapa b),
- e) represurización del adsorbedor que ha experimentado la elución de la etapa d) sucesivamente con al menos dos flujos, un primer y un segundo flujo de represurización, con un contenido creciente de oxígeno, siendo el primer flujo de represurización el tercer flujo gaseoso producido en la etapa c) y siendo el segundo flujo de
- 15 represurización el segundo flujo gaseoso producido de la etapa b).

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la producción del segundo flujo gaseoso en la etapa b) se realiza por despresurización en cocorriente.

3.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la producción del segundo flujo gaseoso en la etapa b) se realiza en dos tiempos, un primer tiempo durante el que la producción se realiza por despresurización en cocorriente y un segundo tiempo durante el cual la producción se realiza mediante una despresurización en contracorriente combinada con una despresurización en contracorriente.

4.- Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que la despresurización en contracorriente se realiza por medio de una válvula.

5.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la etapa e) de represurización se realiza sucesivamente con 3 flujos, un primer, un segundo y un tercer flujo de represurización, con un contenido creciente de oxígeno, siendo el primer flujo de represurización el tercer flujo gaseoso producido de la etapa c), siendo el segundo flujo de represurización el segundo flujo gaseoso producido en la etapa b) y siendo el tercer flujo de

6.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que:

- 30 - la presión al final de la etapa a) está comprendida entre 1,75 y 1,25 bar, preferentemente entre 1,55 y 1,45 bar,
- la presión al final de la etapa b) está comprendida entre 1,5 y 1,0 bar, preferentemente entre 1,30 y 1,20,
- la presión al final de la etapa c) está comprendida entre 1,0 y 0,7 bar, preferentemente entre 0,90 y 0,80, y
- 35 - la presión baja del ciclo de presión está comprendida entre 0,25 y 0,45 bar, preferentemente entre 0,40 y 0,30.

7.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la duración del ciclo de presión es inferior a 60 segundos, preferentemente comprendida entre 15 y 45 segundos,

8.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la unidad de tipo VPSA comprende N adsorbedores o N grupos de adsorbedores siguiendo cada adsorbedor n o cada grupo de adsorbedores n el ciclo de presión con un retraso de un tiempo de fase con respecto al ciclo de presión del adsorbedor n-1, siendo $n \leq N$.

9.- Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que N está comprendido entre 1 y 4.