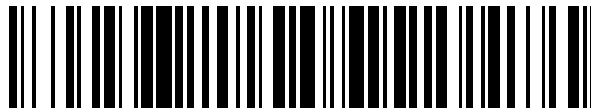


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 870**

51 Int. Cl.:

B01D 53/047 (2006.01)

C01B 3/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.01.2012 PCT/US2012/020197**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.07.2012 WO12096815**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.01.2012 E 12700887 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017 EP 2663382**

54 Título: **Proceso de adsorción por oscilación de presión de diez lechos que opera en modos normal y de regulación**

30 Prioridad:
11.01.2011 US 201113004731

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.12.2017

73 Titular/es:
**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 Old Ridgebury Road
Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:
**BAKSH, MOHAMED y
SIMO, MARIAN**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 647 870 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 adsorción por oscilación de presión de diez lechos que opera en modos normal y de regulación

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de adsorción por oscilación de presión de diez lechos (PSA) que utiliza
 10 ciclos nuevos y avanzados para obtener una mejor recuperación de hidrógeno a partir de un gas de alimentación
 que contiene hidrógeno (es decir, gas de síntesis). Más específicamente, a través de ciclos de proceso recién
 desarrollados, el sistema de PSA de diez lechos es capaz de ajustar la recuperación de hidrógeno de los sistemas de
 PSA de doce lechos convencionales diseñados para fabricar 100 millones de pies cúbicos estándar (108.459.742
 MJ) al día de gas. El sistema de PSA de diez lechos y los ciclos de proceso asociados resultan ventajosos ya que
 15 proporciona aproximadamente un 20% de reducción del factor de tamaño del lecho. El ahorro adicional de coste de
 inversión se obtiene como resultado de la utilización de dos lechos menos, y válvulas y tuberías asociadas. El
 presente sistema de PSA de diez lechos se puede operar en modo de regulación en el que uno o más lechos se
 mantienen fuera de línea, también denominado en la presente memoria como modo de regulación. Además, la
 invención se refiere a una nueva capa adsorbente empleada en los lechos del PSA.

Antecedentes de la invención

20 Siguen siendo necesarios gases de alta pureza, tales como hidrógeno, procesados a partir de efluentes en las
 industrias de procesado químico. Estos efluentes son gases de mezcla de alimentación que contienen hidrógeno (es
 decir, gases de síntesis), procedentes de los similares de reformado de metano de vapor de gas natural o nafta,
 reformado catalítico de hidrocarburos, procesos de isomerización, etc, que se conducen a un PSA para el procesado
 posterior. Esta demanda creciente requiere la necesidad de desarrollar procesos de separación altamente eficaces
 (por ejemplo, PSA) para la producción de hidrógeno (H₂) a partir de diversas mezclas de alimentación. Con el fin de
 obtener procesos de separación de PSA altamente eficaces, se deben reducir tanto los costes de inversión como los
 costes de operación del sistema PSA. Algunas formas de reducir el coste del sistema de PSA incluyen una
 25 disminución de las existencias de adsorbente, reducción del número de lechos de PSA y uso de ciclos avanzados en
 los procesos de PSA. Las formas anteriormente mencionadas de reducción del coste del sistema de PSA
 constituyen los elementos de la presente invención.

30 Los sistemas de PSA convencionales se conocen bien por separar los gases de mezcla de alimentación que
 contienen componentes con diferentes características de adsorción. Por ejemplo, en un sistema de PSA típico, se
 hace pasar un gas de multicomponente hasta al menos uno de los lechos de adsorción múltiples a presión elevada
 para adsorber al menos un componente de sorción intensa al tiempo que se produce el paso de al menos un
 componente. En el caso de PSA de hidrógeno, el hidrógeno es el componente que se adsorbe de forma más débil
 cuando pasa a través del lecho. En un tiempo definido, la etapa de alimentación se hace discontinua y el lecho de
 adsorción se des-presuriza en co-corriente en una o más etapas, se purga en contra-corriente en una o más etapas
 35 y se despresuriza en contra-corriente en una o más etapas para permitir que el producto de hidrógeno
 esencialmente puro salga del lecho con elevada recuperación. La secuencia de etapas no está limitada a lo anterior,
 y se puede llevar a una combinación de dos o más etapas como parte de una etapa individual.

40 En la técnica relacionada, la patente de Estados Unidos N.º 4.475.929 divulga sistemas de PSA de cuatro, seis,
 nueve y diez lechos con ciclos que utilizan adsorción a presión elevada, des-presurización en co-corriente hasta
 presión intermedia, despresurización en contra-corriente y/o purga a baja presión re-presurización. Se emplea una
 etapa de purga en co-corriente a una presión de adsorción antes de la despresurización en co-corriente. Se emplea
 metano o gas natural como gas de purga en co-corriente.

45 La patente de Estados Unidos N.º 3.986.849 describe una separación de PSA adiabática o mezcla de gases de
 alimentación tales como hidrógeno que contiene dióxido de carbono, e impurezas de nitrógeno que usa al menos
 siete lechos en el sistema de PSA. Al menos dos lechos están en la etapa de alimentación en cualquier momento.
 De acuerdo con la presente divulgación de patente, se usan sistemas de PSA de siete, ocho, nueve y diez lechos en
 los sistemas de purificación de hidrógeno.

50 La patente de Estados Unidos N.º 4.650.500 va destinada a un ciclo de PSA 10-3-3 (sistema de PSA de 10 lechos -
 3 lechos en producción en cualquier momento - 3 etapas de compensación de lecho-a-lecho) para lograr un mejor
 rendimiento del proceso de PSA. El número de lechos en la etapa de adsorción de un ciclo de adsorción por
 oscilación de presión se varía cíclicamente durante todo el ciclo. Como resultado de ello, se separa la etapa final de
 re-presurización de lecho a partir de la etapa de compensación de presión-re-presurización parcial, para mejorar
 supuestamente la recuperación de producto sin discontinuidad en el flujo de efluente de producto a partir del sistema
 de adsorción o el uso de un tanque de almacenamiento externo de re-presurización. Esta patente también divulga el
 uso del ciclo PSA 10-3-3 para la purificación de hidrógeno.

55 La patente de Estados Unidos N.º 6.379.431 divulga un proceso de PSA de hidrógeno de diez lechos, que
 supuestamente tiene la misma recuperación que el sistema de PSA de doce lechos convencional. El proceso tiene
 cuatro etapas de compensación de presión seguidas de etapas de purga, soplado, purga, compensación de presión
 y re-presurización de producto. No obstante, los ciclos no contienen cuatro etapas completas de compensación, y

algunos ciclos incluyen etapas inútiles. Además, los ciclos de proceso descritos en la patente de Estados Unidos N°. 6.379.431 no siguen un protocolo de reflujo secuencial, dando como resultado la degradación de la recuperación de hidrógeno.

5 Además de los ciclos, la técnica relacionada también comenta los materiales adsorbentes convencionales utilizados en los lechos como medio para mejorar la recuperación de producto en los sistemas de PSA de hidrógeno. Por ejemplo, la patente de Estados Unidos N°. 6.814.787 va destinada a un aparato de PSA y un proceso para la producción de hidrógeno purificado a partir de una corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos pesados (es decir, hidrocarburos que tienen al menos seis carbonos). El aparato incluye al menos un lecho que contiene al menos tres capas. La zona de adsorción en forma de capas contiene una alimentación con un adsorbente de bajo área superficial (de 20 a 400 m²/g) que comprende de un 2 a un 20% de la longitud total del lecho seguido de una capa de un adsorbente de área superficial intermedia (de 425 a 800 m²/g) que comprende de un 25 a un 40% de la longitud total de lecho y una capa final de adsorbente de elevada área superficial (de 825 a 2000 m²/g) que comprende de un 40 a un 78% de la longitud total del lecho.

15 La patente de Estados Unidos N°. 6.027.549 divulga un proceso de PSA para la retirada de dióxido de carbono y posterior uso de carbonos activados que tienen densidades aparentes dentro del intervalo de 560-610 kg/m³ (35-38 libras/pie³) y tamaños de partícula dentro del intervalo de 1-3 mm de diámetro. No obstante, se logra únicamente una ventaja mínima en la recuperación (aproximadamente un 0,2%) cuando la densidad aparente se encuentra dentro del intervalo de un 35 a un 38 libras/pie³ (de 588,5 a 639 kg/m³) en un proceso de PSA de cinco lechos para producir hidrógeno.

20 La patente de Estados Unidos N°. 6.340.382 va destinada a un proceso de PSA que purifica hidrógeno a partir de una mezcla que pasa a través de una capa de óxido de aluminio (Al₂O₃) para la retirada de humedad, a continuación a través de una capa de carbono activado para la retirada de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄), y finalmente a través de una capa de zeolita de CaX para la retirada de nitrógeno (N₂) para producir H₂ de alta pureza (> 99,99%). CaX es al menos Ca de 90% sometido a intercambio con SiO₂/Al₂O₃ = 2,0.

25 La patente de Estados Unidos N°. 7.537.742 B2, también propiedad del cesionario de la presente invención, se refiere a un conjunto óptimo de adsorbentes para su uso en sistemas de PSA de hidrógeno. Cada lecho de adsorbente está dividido en cuatro regiones. La primera región contiene adsorbente para la retirada de agua. La segunda región contiene una mezcla de adsorbentes fuertes y débiles para retirar las impurezas en volumen tales como CO₂. La tercera región contiene un adsorbente de elevada densidad aparente (> 38 libras/pie³ (639 kg/m³)) para retirar el CO₂ restante y la mayoría de CH₄ y CO presentes en las mezclas de alimentación que contienen hidrógeno. La cuarta región contiene adsorbente que tiene constantes de ley de Henry elevadas para la limpieza final de N₂ y las impurezas residuales para producir hidrógeno a la pureza elevada deseada.

35 La patente de Estados Unidos N°. 6.402.813 B2 describe la purificación de una mezcla gaseosa mediante adsorción de las impurezas sobre un adsorbente de carbono formado por medio de una combinación de diversos carbonatos activados diferentes. En particular, se describe un proceso de PSA para purificar un gas, tal como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono, argón, metano y mezclas de gases que contienen estos componentes. La corriente gaseosa que se pretende purificar se hace pasar a través de carbonos, en los que el orden de las capas de carbono es tal que existe al menos una de las siguientes condiciones: (1) la densidad (D) es tal que D₁>D₂, (2) el área superficial específica (SSA) es tal que SSA₁>SSA₂, (3) el tamaño medio de poro (MPS) es tal que MPS₁>MPS₂, y (4) el volumen de poros es tal que PV₁>PV₂. Más específicamente, la presente patente se refiere a un proceso en el que se usan al menos dos capas de carbonos activados en los que la primera capa de carbono tiene una densidad menor que la segunda, el primer carbono tiene más área superficial específica, y también un tamaño medio de poro mayor que el segundo carbono.

45 Para solucionar las desventajas de los sistemas de PSA relacionados con la técnica, un objetivo de la presente invención es introducir nuevos y avanzados ciclos de PSA para PSA de diez lechos en operación normal, así como modos de regulación. Estos ciclos para el sistema de PSA de diez lechos incluye al menos dos etapas de compensación adicionales de lecho-a-lecho que tienen como resultado mayor recuperación de hidrógeno. El resto de los ciclos, en el modo de regulación, proporcionan un rendimiento de proceso mejorado debido al número elevado de lechos en alimentación simultánea y/o etapas de compensación lecho-a-lecho. Es un objetivo adicional de la invención diseñar los ciclos para incluir el uso de un protocolo de reflujo secuencial para mejorar las etapas de regeneración, lo cual tiene como resultado de este modo un rendimiento superior. La invención proporciona las siguientes características: (1) no es necesario un tanque de almacenamiento adicional; (2) no hay etapas inútiles; (3) flujo de gas (gas de escape) de cola PSA continuo y (4) mayor recuperación que los ciclos de la técnica relacionada.

55 Es otro objetivo de la invención modificar el sistema de adsorbente en cada lecho para que contenga al menos tres capas de adsorbentes (por ejemplo, alúmina, carbono activado y zeolita), en el que los componentes de carbono y zeolita se encuentran en forma de capas, en base al tamaño de partícula y permite la mejora adicional de la recuperación de hidrógeno. Por tanto, se ha descubierto un proceso eficaz de separación de PSA con elevada recuperación de hidrógeno, menores requisitos de adsorbente, (es decir, menor factor de tamaño de lecho (BSF)), y menores costes de inversión y operación. Adicionalmente, el proceso debería operar de manera eficaz cuando se sacan uno o más lechos por motivos operacionales, tales como fallo de válvulas o debido a la demanda reducida

60

(denominada en la presente memoria, como "regulación" o "modo de regulación").

Sumario de la invención

La invención proporciona procesos de adsorción por oscilación de presión para la separación de un suministro de gas de alimentación presurizado que contiene uno o más componentes de adsorción intensa y al menos un gas de producto de adsorción menos intensa en un sistema de lecho múltiple como se define en las reivindicaciones 1, 2 y 3. El gas de alimentación se suministra a un extremo de alimentación de un lecho de adsorbente que contiene material(es) adsorbente(s) sólido(s), que preferentemente adsorbe(n) el(los) componente(s) de adsorción intensa. El componente de producto de adsorción menos intensa se extrae a partir del extremo de salida del lecho de adsorbente. Esto se lleva a cabo en ciclo(s) de PSA que incluyen las etapas en las cuales el gas de alimentación continuo fluye, de forma secuencial y en contra-corriente, a través de cada uno de los lechos del dispositivo de adsorción para generar un producto de gas usando un gas de alimentación continuo, etapa(s) de presurización, etapa(s) de compensación de presión, etapa(s) de soplado y etapa(s) de purga.

El gas de producto del proceso es preferentemente hidrógeno aunque el proceso se puede ampliar a otros procesos de separación tales como la purificación de helio, recuperación de gas natural, producción de CO₂ a partir de gas de síntesis u otra fuente que contenga CO₂ en la alimentación de suministro o en otros procesos de PSA para la coproducción de H₂ y CO₂. Uno de las nuevas características de la presente invención es la introducción de un ciclo nuevo y avanzado en un sistema de PSA de diez lechos que tiene cinco etapas de compensación para lograr una mayor recuperación de H₂. Este ciclo se puede modificar de forma adicional y puede operar el sistema de PSA en un modo de regulación con una reducción relativamente pequeña del rendimiento, permitiendo de este modo que el sistema de PSA opere con un número de lechos tan bajo como cinco. Además, los nuevos ciclos de proceso de PSA se aprovechan del protocolo de reflujo secuencial para mejorar las etapas de regeneración, y el rendimiento global del sistema de PSA.

Otra característica nueva de la invención es en los adsorbente en forma de capas, que se pueden utilizar en los lechos. Estas configuraciones en forma de capas de componentes de carbono y/o zeolita difieren de la otra capa de material adsorbente similar en el tamaño de partícula. Estas configuraciones en forma de capas de los materiales de lecho y los ciclos de PSA proporcionan un efecto sinérgico con una mejora global de la recuperación de hidrógeno y el rendimiento de 1-2% con respecto a los ciclos de PSA convencionales.

En una primera realización a modo de ejemplo de la invención, se proporciona un proceso de adsorción por oscilación de presión para separar un gas de alimentación de suministro presurizado. El gas de alimentación que contiene uno o más componentes de adsorción intensa se separa de al menos un componente de gas de producto de adsorción menos intensa en un sistema adsorbente de diez lechos para producir una corriente continua de gas de producto enriquecido en el componente de adsorción menos intensa y una corriente continua de gas de escape que está enriquecida en los componentes de adsorción intensa, en el que el ciclo de proceso tiene veinte etapas que incluyen cinco etapas de compensación lecho-a-lecho, mientras que tres de los lechos se encuentra en producción en todo momento.

En otras realizaciones a modo de ejemplo de la invención, el sistema de adsorción con oscilación de presión está en modo de regulación con únicamente nueve, ocho, siete, seis o cinco lechos en línea. En estas realizaciones, los ciclos de proceso se describen en la presente memoria.

Breve descripción de las figuras

Los objetivos y ventajas de la invención se comprenderán mejor a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas de la misma en conexión con las figuras adjuntas en las que:

La Figura 1 ilustra una configuración de lecho avanzada/estructura de capas de acuerdo con un aspecto de la invención;

La Figura 2A es un diagrama de las tasas de adsorción relativas de N₂ y CO frente al diámetro de partícula para capas de zeolitas mostradas en la Figura 1;

La Figura 2B es un diagrama de las tasas de adsorción relativas de CO₂ y CH₄ frente al diámetro de partícula para las capas de carbono mostradas en la Figura 1; y

La Figura 3 es un conjunto/sistema de PSA de H₂ de diez lechos utilizado con los ciclos de la presente invención.

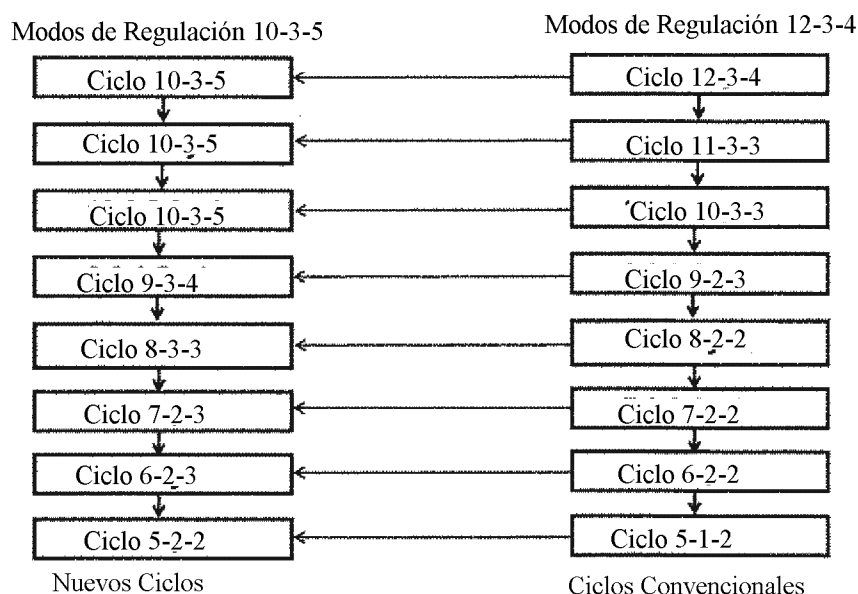
Descripción detallada de la invención

En la presente memoria se divulga un conjunto completo de procesos/ciclos de PSA de alta eficacia empleados en un sistema de PSA de diez lechos tanto en modo normal como en modo de regulación. Cuando se opera en modo normal (es decir, diez lechos en línea), este sistema de PSA de gran escala logra aproximadamente 2,8 millones de pies cúbicos estándar (3,04 millones de MJ) al día (100 millones de pies cúbicos estándar (108.459.742 MJ) al día (MMSCFSD)) de producción de hidrógeno. Aunque los ciclos/procesos de PSA descritos en la presente memoria

son respecto a la producción de hidrógeno, se comprende por parte de los expertos en la técnica que estos ciclos se pueden aplicar a cualquier proceso de separación de hidrógeno a partir de diversas mezclas de alimentación, independientemente de la fuente.

5 Con referencia a la Tabla 1, siguiente, los ciclos nuevos y avanzados para el sistema de PSA de diez lechos se contrastan con los ciclos convencionales para doces sistemas de PSA de diez lechos en condiciones de operación normales y modo de regulación. El último, naturalmente, incluye un sistema de PSA de diez lechos en modo de regulación. La nomenclatura usada en la presente memoria para hacer referencia a los ciclos, y por medio del ejemplo en un ciclo de 10-3-5, el primer número hace referencia al número de lechos del sistema de PSA, el segundo número hace referencia al número de lechos en la alimentación en paralelo (es decir, en cualquier alimentación de proceso instantánea) y el último número hace referencia al número de etapas de compensación lecho-a-lecho en un ciclo particular.

Tabla 1



15 El ciclo 10-3-3 convencional (es decir, el sistema PSA en el modo de regulación 12-3-4) define una secuencia de ciclo PSA que usa diez lechos con tres lechos en cualquier alimentación de proceso instantánea y con tres etapas de compensación de lecho-a-lecho. El nuevo ciclo propuesto en la presente invención emplea un ciclo 10-3-5 que se caracteriza por dos etapas de compensación adicionales que son el resultado de una mayor recuperación de hidrógeno. Los ciclos restantes presentados en la Tabla 1 corresponden a los denominados modos de regulación o excepcionales de operación, en los que es necesario operar el proceso con menos lechos. Todos los ciclos de regulación ofrecen un rendimiento de proceso mejorado debido al elevado número de alimentaciones en paralelo y/o etapas de compensación lecho-a-lecho. Los diversos ciclos y su modo de operación se describe con detalle a continuación.

25 Otro aspecto de la invención hace referencia a los adsorbentes introducidos en los lechos de PSA de hidrógeno para mejorar la recuperación de hidrógeno. Se ha descubierto que se obtienen tres capas de adsorbentes en las cuales cada capa está subdividida en dos capas que contienen el mismo adsorbente, todavía con un tamaño de partícula diferente, cinéticas óptimas de adsorción y desorción para impurezas específicas presentes en el gas de alimentación que contiene hidrógeno. Esta configuración avanzada en forma de capas adsorbentes tiene como resultado, de este modo, una mejora de la recuperación de hidrógeno.

30 El proceso típico de PSA de hidrógeno utiliza tres adsorbentes diferentes introducidos en el recipiente desde la parte inferior hasta la parte superior en un orden tal como (1) alúmina; (2) carbono activado y (3) zeolita. Existen cinco impurezas principales a retirar por medio del proceso de adsorción. La alúmina adsorbe la humedad presente en el gas de alimentación. La capa de carbono activada normalmente está diseñada con vista al dióxido de carbono y los hidrocarburos tales como metano, etano y propano. La función de la zeolita es retirar el monóxido de carbono, nitrógeno, argón y metano residual no extraídos por el carbono activado colocado aguas arriba de la zeolita. Los detalles adicionales de las capas de los adsorbentes en cada lecho de PSA se comentan en Baksh et al (patente de Estados Unidos N.º 7.537.742 B2), que es también propiedad del cesionario de la presente invención.

35 La Figura 1 es ilustrativa de las capas adsorbentes en cada uno de los lechos de PSA de la invención. Las propiedades adsorbentes en las capas dos, tres, cuatro y cinco se ajustan de forma fina mediante la optimización del tamaño de partícula del adsorbente usado para lograr el rendimiento óptimo de proceso de PSA. A modo de

ejemplo, las capas dos y tres son idénticas (es decir, ambas son del mismo material de carbono) exceptuando por la diferencia en cuanto a tamaños de partícula. De igual forma, las capas cuatro y cinco son idénticas (es decir, ambas son el mismo material de zeolita), pero su tamaño de partícula es diferente. El diseño del recipiente de adsorbedor y la configuración es tal que será capaz de adsorber cinco componentes diferentes. Idealmente, la capa 1 adsorbe humedad, la capa 2 adsorbe dióxido de carbono, la capa 3 adsorbe metano, la capa 4 adsorbe monóxido de carbono y la capa 5 adsorbe nitrógeno. Los expertos en la técnica reconocerán que la recuperación del proceso se maximiza cuando los adsorbentes se utilizan de forma completa. Usando un diseño de la capa tres, el experto artesano tiene únicamente tres grados de libertad para dimensionar el adsorbedor para la retirada de los cinco componentes. El enfoque de la invención añade dos grados de libertad más, posibilitando de este modo la obtención de una mayor recuperación de hidrógeno en combinación con los ciclos de la presente invención.

El ajuste del tamaño de partícula de adsorbente afecta a la tasa de adsorción y al proceso de desorción - la capacidad de adsorción es independiente del tamaño de partícula. La resistencia de difusión en un proceso de adsorción es la suma de todas las resistencias de difusión dentro de la partícula del material adsorbente. El cambio del tamaño de partícula puede o no afectar a la resistencia de difusión global dependiendo del nivel de contribución del fenómeno de difusión afectado por el tamaño de partícula.

En una realización, se usa zeolita CaX (2.3) en las capas cuarta y quinta de la Figura 1. Las capas se dimensionan de manera que la cuarta capa preferentemente adsorba monóxido de carbono y la quinta capa preferentemente adsorba nitrógeno. Con referencia a la Figura 2A, se muestra la dependencia de las tasas de adsorción relativas con respecto al diámetro de partícula tanto para nitrógeno como para monóxido de carbono. Se emplea la técnica de Columna de Longitud Cero (ZLC) para obtener los datos representados en la Figura 2A. Véase, J.A.C. Silv & A.E. Rodrigues, Gas. Sep. Purif., Vol. 10, N°. 4, pp. 207-224. 1996.

El valor de la tasa de adsorción relativa es la proporción de la tasa de adsorción verdadera y el valor de la tasa convencional. El valor de tasa verdadera corresponde a una tasa mínima necesaria para dar lugar a un mejor rendimiento de proceso de PSA. Si se usa el mismo tamaño de partícula (por ejemplo, 2,5 mm) para ambas capas en el proceso, se cumple el requisito para la tasa de nitrógeno. No obstante, como se puede determinar a partir de la Figura 2A, la tasa de CO con respecto a la tasa de adsorción convencional es únicamente un 40% del mínimo requerido. Por tanto, resulta deseable disminuir el tamaño de partícula de la zeolita en la capa cuatro con el fin de disminuir la tasa de adsorción de monóxido de carbono. Un valor de 1,5 mm cumple con la especificación de diseño para la tasa de monóxido de carbono en la presente realización particular a modo de ejemplo. Resulta obvio que podría aumentar la tasa de nitrógeno así como disminuir el tamaño de partícula en la capa cinco. Como resultado de ello, únicamente tiene lugar una mejora de proceso despreciable ya que la tasa de adsorción de nitrógeno ya se encuentra por encima del valor mínimo requerido. Por otra parte; el rendimiento del proceso puede sufrir a partir de una mayor disminución de presión en el lecho. La estructura de capas preferidas para el presente ejemplo particular será la de tamaños de partícula mayores de 2 mm y menores de 3 mm para la capa cinco y tamaños de partícula mayores de 0,5 mm y menores de 2 mm para la capa cuatro.

Las capas de carbono dos y tres se ocupan con las partículas de carbono de tamaño diferente también. La técnica ZLC se emplea una vez más de nuevo para medir las tasas de adsorción para dióxido de carbono y metano sobre el material de carbono. Los datos de tasa normalizados por medio de la tasa normalizada se muestran en la Figura 2B. La tasa para metano es satisfactoria a tamaños de partícula menores de 2,25 mm. No obstante, es necesario que las partículas pequeñas obtengan tasa razonables para dióxido de carbono. Por medio de inspección de los datos de la Figura 2B, el tamaño de partícula de carbono preferido para la captación de dióxido de carbono es menor de 1,5 mm y para metano menor de 2,0 mm. De este modo, la formación de capas para este ejemplo particular serán tamaños de partícula mayores de 1,0 mm y menores de 2,0 mm para la capa tres y tamaños de partícula mayores de 0,5 mm y menores de 1,5 mm para la capa dos.

Ahora se describen los nuevos ciclos de PSA de la presente invención con referencia a diversas realizaciones a modo de ejemplo. En una realización de la invención, el nuevo sistema de PSA emplea un ciclo de PSA de diez lechos de adsorbedor de veinte etapas que tiene cinco etapas de compensación, además de las etapas de purga, soplado y presurización de producto (denominadas en la presente memoria "el ciclo PSA 10-3-5"). El sistema PSA incluye un suministro continuo de gas de alimentación a al menos tres lechos que están simultáneamente en la fase de adsorción. Estos tres lechos separan el gas de alimentación de suministro presurizado que contiene un o más componentes de adsorción intensa y permiten que el gas de producto de hidrógeno de adsorción menos intensa salga de los lechos. Como se muestra en la Tabla 1, anterior, el ciclo de PSA 10-3-5 se puede operar con diez lechos en línea, mientras que un sistema PSA 12-3-4 convencional se encuentra en modo de regulación, operando bien con once o bien con diez lechos. Como resultado de ello, las etapas de compensación adicionales de los ciclos de la presente invención, tienen como resultado una recuperación y producción de hidrógeno más elevada que se ajusta al rendimiento de un sistema de doce lechos.

El sistema de PSA se puede utilizar en modo de regulación con nueve lechos. El ciclo de PSA para los nueve lechos incluiría diez y ocho etapas, en las cuales tres lechos están en adsorción y tiene cuatro etapas de compensación de lecho-a-lecho además de las etapas de purga y presurización de producto (denominadas en la presente memoria como "ciclo de PSA 9-3-4").

ES 2 647 870 T3

En un modo de regulación adicional, el sistema de PSA utiliza ocho lechos y emplea diez y seis etapas en el ciclo en el que tres de los lechos están simultáneamente en la fase de adsorción, y cada lecho tiene al menos tres etapas de compensación con otro lecho además de las etapas de purga y presurización de producto (denominadas en la presente memoria como "ciclo PSA 8-3-3").

5 En otro modo de regulación, el sistema de PSA utiliza siete lechos y emplea veinte y una etapas en el ciclo en el que dos de los lechos están simultáneamente en la fase de adsorción, y cada lecho tiene al menos tres etapas de compensación (es decir, con otro lecho en el sistema) además de las etapas de purga y presurización de producto (denominadas en la presente memoria como el "ciclo PSA 7-2-3").

10 En otro modo de regulación, el sistema de PSA utiliza seis lechos y emplea diez y ocho etapas en el ciclo en el que dos de los lechos están simultáneamente en la fase de adsorción, y cada lecho tiene al menos tres etapas de compensación lecho-a-lecho además de las etapas de purga y presurización de producto (denominadas en la presente memoria como el "ciclo PSA 6-2-3").

15 En un modo de regulación adicional, el sistema de PSA utiliza cinco lechos y emplea quince etapas en el ciclo en el que dos de los lechos están simultáneamente en la fase de adsorción, y cada lecho tiene al menos dos etapas de compensación lecho-a-lecho además de las etapas de purga y presurización de producto (denominadas en la presente memoria como el "ciclo PSA 5-2-2").

Con referencia a la Figura 3 y las Tablas 2 y 3, se ilustra el modo de operación para el ciclo de PSA 10-3-5. Específicamente, la secuencia de etapas para el ciclo PSA 10-3-5 se lleva a cabo en el orden citado en cada uno de los recipientes de adsorción.

20

Tabla 2

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lecho N°:																				
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'
4	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG
5	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG
6	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4
7	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2
8	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
9	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
10	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

Se comprende que la nomenclatura proporcionada para este ciclo de PSA 10-3-5 es la misma para todos los ciclos comentados en la presente memoria, en la que:

A1 = Primera Etapa de Adsorción

25 A2 = Segunda Etapa de Adsorción

A3 = Tercera Etapa de Adsorción

A4 = Cuarta Etapa de Adsorción

A5 = Quinta Etapa de Adsorción

A6 = Sexta Etapa de Adsorción

30 E1 = Primera Compensación Inferior

E2 = Segunda Compensación Inferior

E3 = Tercera Compensación Inferior

E4 = Cuarta Compensación Inferior

E5 = Quinta Compensación Inferior

ES 2 647 870 T3

PPG = Suministro de Gas de Purga

BD = Soplado

PG = Purga

E5' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E5)

5 E4' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E4)

E3' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E3)

E2' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E2)

E1' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E1)

PP = Presurización de Producto

10 En algunos de los ciclos, y como puede requerir el ciclo particular, se emplea la siguiente nomenclatura adicional:

A6-A8 = Etapa de Adsorción Sexta a Octava

A6/PP = Etapa de Adsorción Sexta/Presurización de Producto

PPG1 = Primera Etapa de Proporcionar Gas de Purga

PG1 = Purga que usa gas de la etapa PPG

15 PPG2 = Segunda Etapa de Proporcionar Gas de Purga

BD1 = Primera Etapa de Soplado

BD2 = Segunda Etapa de Soplado

PG2 = Etapa de Purga que usa gas de la Etapa PPG2

PG1 = Etapa de Purga que usa gas de la Etapa PPG1

20 En la Tabla 2, las filas corresponden a un lecho particular del sistema PSA, mientras que las columnas representan el número de etapa. La duración de una secuencia de ciclo (una fila) se denomina como el tiempo de ciclo total o tiempo de ciclo (CT). El tiempo de ciclo es constante para cada lecho. El cambio relativo en las etapas del ciclo entre los lechos también puede interpretarse a partir de la Tabla 2. Este cambio es igual a $1/10^a$ parte de CT ya que existen diez lechos en este ciclo particular. Con el fin de definir completamente el ciclo PSA 10-3-5, se deben asignar los tiempos de etapa para las etapas 1 y 2 - tales como t_1 y t_2 . La duración del bloque básico se define entonces como t_1+t_2 . Mediante el empleo de la periodicidad de ciclo descrita anteriormente, el $CT = 10*(t_1+t_2)$ y a continuación la duración de las etapas numeradas impares es igual en tiempo a t_1 y las etapas numeradas pares es igual a t_2 . Además, hay veinte etapas en el ciclo, y el modo de operación para cada etapa está compensado por dos etapas.

30 La secuencia de ciclo PSA 10-3-5 se describe a continuación con respecto a un lecho que experimenta el ciclo completo de PSA (es decir, CT). La Figura 3 muestra un conjunto/tren de PSA representativo que tiene diez lechos en paralelo, y se emplea en la presente memoria para ilustrar la presente realización. El sistema incluye 60 válvulas de encendido/apagado, y 22 válvulas de control, 7 colectores y tuberías y empalmes asociados. Las válvulas de control se utilizan para controlar el caudal o presión durante determinadas etapas de proceso mientras que las válvulas de encendido/apagado permiten la comunicación entre los diversos lechos del sistema PSA. La nomenclatura de válvula utilizada es tal que los dos primeros dígitos del número de cola de la válvula corresponden al número de lecho y el último dígito indica el número de colector. Mediante la referencia cruzada de la designación de lecho y colector, cada válvula tiene un único número de cola - estas válvulas se denominan válvulas de ciclado. Por cuestiones de claridad, los números de cola de la válvula que comienzan con dos ceros, tal como la válvula 002 de control de presión o la válvula 007 de control de re-presurización no están asociadas a ninguno de las válvulas de proceso - lechos.

35 La secuencia de válvula que representa las etapas en el ciclo PSA 10-3-5 de la Figura 3 se ilustra en la Tabla 3, siguiente, en la que el diagrama de válvula define la posición o acción para cada válvula (es decir, abierta = O, cerrada = C, y CV = válvula de control en posición abierta que emplea la posición para variar el caudal) en una etapa particular del ciclo de PSA.

45

Tabla 3. Diagrama de Válvula de Ciclo PSA 10-3-5

Etapas N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
XV-007																				
XV-008	CV	CV																		
XV-011	o	o																		
XV-012	o	o																		
XV-013			o	o																
XV-014			o	o																
XV-015			o	o																
XV-016			o	o																
XV-017			o	o																
XV-018			o	o																
XV-021			o	o																
XV-022			o	o																
XV-023			o	o																
XV-024			o	o																
XV-025			o	o																
XV-026			o	o																
XV-027			o	o																
XV-028			o	o																
XV-031			o	o																
XV-032			o	o																
XV-033			o	o																
XV-034			o	o																
XV-035			o	o																
XV-036			o	o																
XV-037			o	o																
XV-038			o	o																
XV-041			o	o																
XV-042			o	o																
XV-043			o	o																
XV-044			o	o																
XV-045			o	o																
XV-046			o	o																
XV-047			o	o																
XV-048			o	o																
XV-051			o	o																
XV-052			o	o																
XV-053			o	o																
XV-054	CV	CV																		
XV-055			o	o																
XV-056			o	o																
XV-057			o	o																
XV-058			o	o																
XV-061			o	o																
XV-062			o	o																
XV-063			o	o																
XV-064			CV	CV																
XV-065			o	o																
XV-066			o	o																
XV-067			o	o																
XV-068	CV	CV																		
XV-071			o	o																
XV-072			o	o																
XV-073			o	o																
XV-074			o	o																
XV-075			o	o																
XV-076			o	o																
XV-077			o	o																
XV-078	CV	CV																		
XV-081			o	o																
XV-082			o	o																
XV-083			o	o																
XV-084			o	o																
XV-085			o	o																
XV-086			o	o																
XV-087			o	o																
XV-088	CV	CV																		
XV-091			o	o																
XV-092			o	o																
XV-093			o	o																
XV-094			o	o																
XV-095			o	o																
XV-096			o	o																
XV-097			o	o																
XV-098			CV	CV																
XV-101			o	o																
XV-102			o	o																
XV-103			o	o																
XV-104			o	o																
XV-105			o	o																
XV-106			o	o																
XV-107			o	o																
XV-108			o	o																

5 Etapas Nos. 1-6 (A1-A6): se introduce la mezcla de gas de alimentación en la parte inferior del Lecho 1 a partir del primer colector (es decir, colector de alimentación) a presión elevada. El ciclo de proceso comienza en la etapa de adsorción uno (es decir, A1). Ambas válvulas 011 (es decir, XV-011) y 012 (es decir, XV-012) están abiertas mientras que las otras válvulas de Lecho 1 (por ejemplo, 01x) están cerradas. A continuación, se hace referencia a los números de cola de las válvulas sin usar el prefijo XV. Además del Lecho 1, el Lecho 9 y el Lecho 10 están procesando la alimentación en la primera etapa. Como resultado de ello, las válvulas 091, 092, 101 y 102 están también abiertas. La mezcla de alimentación fluye desde la parte inferior hasta la parte superior del Lecho 1 (aunque éste también es el caso para el Lecho 9 y el Lecho 10 en la etapa 1). Esta dirección de flujo ascendente en el

- recipiente se denomina como flujo en co-corriente con respecto a la alimentación. Durante la etapa de adsorción, las impurezas se adsorben sobre los adsorbentes y se recoge hidrógeno de alta pureza en el segundo colector de producto. Se usa la válvula de control 002 para controlar la presión en los lechos en la etapa de adsorción o producción/alimentación. El Lecho 1 permanece en la etapa de adsorción durante las etapas uno a seis del ciclo 10-3-5.
- 5
- Etapa N.º 7 (E1): El Lecho 1 experimenta la primera etapa de compensación lecho-a-lecho (E1) mientras que el Lecho 5 está recibiendo en contra-corriente el gas de compensación - etapa (E1') por medio de del primer colector. Véase la Figura 3. En ocasiones, esta etapa de compensación lecho-a-lecho se denomina etapa de despresurización en co-corriente. Las válvulas 017, 018 del Lecho 1 y las válvulas 057 y 058 del Lecho 5 están abiertas mientras que las otras válvulas del Lecho 1 y el Lecho 5 (01x) y (05x) están cerradas. La tasa de las etapas (E1)-(E1') se controla por medio de la válvula de control 018.
- 10
- Etapa N.º 8 (E2): El Lecho 1 experimenta la segunda etapa de compensación (E2). La presión del Lecho 1 disminuye debido al flujo de gas en co-corriente desde el Lecho 1 hasta el Lecho 6 que experimenta la etapa (E2') por medio del sexto colector. Las presiones en ambos lechos son iguales en el extremo de esta Etapa N.º 8. Las válvulas 016, 066 y 068 están completamente abiertas mientras que la válvula 018 controla la tasa de etapas (E2)-(E2').
- 15
- Etapa N.º 9 (E3): El Lecho 1 ejecuta la tercera etapa de compensación inferior (E3). Esta etapa usa el colector de compensación número seis dedicado a las etapas de compensación segunda y tercera del ciclo 10-3-5. Las válvulas 016, 076 y 078 están completamente abiertas mientras que la válvula 018 controla la tasa de las etapas (E3)-(E3').
- 20
- Etapa N.º 10 (E4): El Lecho 1 ejecuta la cuarta etapa de compensación (E4) enviando el gas hasta el Lecho 8. Las válvulas 015, 085 y 088 están completamente abiertas mientras que la válvula 018 controla la tasa de las etapas (E4)-(E4').
- Etapa N.º 11 (E5): El Lecho 1 ejecuta la quinta etapa de compensación inferior (E5). La presente etapa usa el colector de compensación número cinco dedicado a las etapas de compensación cuarta y quinta del ciclo 10-3-5. Las válvulas 015, 095 y 098 están completamente abiertas mientras que la válvula 018 controla la tasa de las etapas (E5)-(E5').
- 25
- Etapa N.º 12 (PPG): En la presente etapa, el Lecho 1 envía en co-corriente el gas de purga al lecho en la etapa de purga (PG). Como se muestra en la Tabla 2, anterior, el lecho que se purga durante la presente etapa es el Lecho 10. La válvula 013 está abierta y se usa la válvula de control 018 para controlar la tasa de esta etapa de purga.
- 30
- Etapa N.º 13 (BD): La finalidad de esta etapa es liberar al recipiente de las impurezas adsorbidas durante las etapas en co-corriente (AD, EQ, PPG) a través de la parte inferior del recipiente. En este punto del ciclo, la presión en el recipiente es bastante baja para mantener las impurezas. Como resultado de ello, experimentan desorción y se dirigen en contra-corriente al tambor de sobrecarga a través de la válvula 014. Todas las válvulas asociadas al Lecho 1 está cerradas durante esta etapa.
- 35
- Etapa N.º 14 (PG): Como se designa en la Tabla 2, esta es la etapa de purga (PG). El Lecho 1 se encuentra recibiendo gas de purga procedente del lecho en la etapa (PPG) (es decir, Lecho 2). Las válvulas 013, 018 está completamente abiertas, y la presión del lecho durante la etapa de purga se controla por medio de la válvula 014.
- Etapa N.º 15 (E5'): La primera etapa de compensación superior se designa como (E5') para hacer referencia al lecho que recibe el gas. Los lechos de las etapas (E5) y (E5') están interaccionando de manera que el contenido del Lecho 3 se transfiere al Lecho 1 hasta que las presiones de ambos lechos se compensan. Las válvulas 035, 015 y 018 están completamente abiertas y la acción de la válvula de control 038 proporciona medios para controlar la tasa de esta etapa.
- 40
- Etapa N.º 16 (E4'): Es la segunda etapa de compensación superior. Los lechos de las etapas (E4) y (E4') están interaccionando de forma que el contenido del Lecho 4 se transfiere al Lecho 1 hasta que las presiones en ambos lechos se compensan. Las válvulas 045, 015 y 018 están completamente abiertas y la acción de la válvula de control 048 proporciona un medio para controlar la tasa de esta etapa.
- 45
- Etapa N.º 17 (E3'): en esta tercera etapa de compensación superior, el Lecho 1 está recibiendo gas procedente del Lecho 5 por medio del sexto colector. Las válvulas 016, 056 y 018 están completamente abiertas y la acción de la válvula de control 058 proporciona el medio para controlar la tasa.
- 50
- Etapa N.º 18 (E2'): En esta etapa, el Lecho 1 está recibiendo gas procedente del lecho 6 por medio del sexto colector. Las válvulas 016, 066 y 018 están completamente abiertas y la acción de la válvula de control 068 proporciona el medio para controlar la tasa.
- Etapa N.º 19 (E1'): En esta última etapa de compensación el Lecho 1 recibe el gas procedente del Lecho 7. Las válvulas 017, 077 y 018 están completamente abiertas y la acción de la válvula de control 078 proporciona el medio para controlar la tasa.
- 55

Etapa N.º 20 (PP): La última etapa del ciclo para el Lecho 1 es la etapa de presurización (PP) del producto, en la que parte del gas producto procedente del segundo colector se emplea para elevar de forma adicional la presión en el lecho mediante el uso de la válvula de control 007. Las válvulas 017 y 018 están completamente abiertas durante esta etapa.

- 5 Se puede describir la funcionalidad básica del ciclo de la misma forma para cada uno de los diez lechos del sistema PSA. No obstante, una vez que se define la secuencia de etapa para un lecho, las secuencias de etapas para los otros lechos siguen el mismo orden y el cambio de tiempo relativo es de 1/10 el valor de CT o (t_1+t_2) (es decir, el Lecho 2 comienza la primera adsorción (A1) en la tercera etapa en comparación con el Lecho 1 que experimenta la primera adsorción (A1) en la primera etapa).
- 10 El rendimiento del sistema de PSA que opera en el ciclo 10-3-5 se obtuvo por medio de modelización matemática. Los resultados se recogen en la Tabla 4. El modelo asumió la siguiente composición de gas de alimentación para todos los ciclos: 73,87% de hidrógeno, 0,23% de nitrógeno, 3,31% de monóxido de carbono, 16,37% de dióxido de carbono, 5,94% de metano y 0,3% de agua. La temperatura del gas de alimentación fue de 37,8°C (100°F) y la presión del gas de alimentación fue de 2583 kPa (360 psig).

15 Tabla 4. Ciclos de PSA de H₂ y rendimiento del proceso correspondiente

Ciclo PSA	10-3-5
Tiempo de Ciclo [min]	7,2
Presión Elevada [kPa (psig)]	2583 (360)
Presión Baja [kPa (psig)]	136 (5,0)
Temperatura [K]	310
ID de Lecho [m (pies)]	3,81 (12,5)
Tasa de Alimentación [10^6 sm ³ /d (MMSCFD)]	4,40 (155,3)
Tasa de Producto de H ₂ [10^6 m ³ /d (MMSCFD)]	2,96 (104,4)
BSF Total [kg/t/d (libras/TPD) H ₂]	1.815 (3.630)
Pureza de H₂ [%]	99,999
Recuperación de H₂ [%]	91
<p>Nota 1: MMSCFD representa millón de pie cúbico estándar por día de gas en el que las condiciones convencionales asumidas son 1 atmósfera de presión y temperatura de 21,1°C (70 °F).</p> <p>Nota 2: 1 psig es una unidad de presión correspondiente a 6894,757 Pascal; 1 libra es una unidad de masa correspondiente a 0,4535924 kg; K corresponde a unidades del Sistema Internacional para temperatura de 1 Kelvin; pie representa distancia 1 pie igual a 0,3048 metros:</p> <p>Nota 3: TPD H₂ representa toneladas (907,2 kg (2.000 libras)) de hidrógeno al día; y</p> <p>Nota 4: BSF (factor de tamaño del lecho) es la relación de masa total de los adsorbentes en todos los lechos y la producción diaria de hidrógeno en toneladas por días (véase Nota 3);</p>	

Como se muestra en la Tabla 4, la recuperación para el ciclo 10-3-5 es de 91%. Este es tres puntos porcentuales más elevado en comparación con el ciclo 10-2-4 de la técnica anterior comentado en Xu et al (patente de Estados Unidos N.º. 6.379.431 B1). Véase las Tablas 2 y 9. Esta mejor recuperación de hidrógeno se traduce en millones de dólares de gas adicional producido y comercializado en base anual.

- 20 Durante la operación de una planta que emplea un sistema de PSA de diez lechos, puede resultar deseable operar la planta en modo de regulación durante un período limitado de tiempo. En el caso de un sistema de PSA de diez lechos/recipientes, este modo permite la producción continua con únicamente nueve recipientes en línea, mientras que uno de los lechos o válvulas asociados a un lecho concreto provocó el fallo y fue necesaria una actuación de servicio. Aunque con frecuencia se aprecia en la industria que el rendimiento de la planta se ve deteriorado de forma
- 25 significativa cuando se opera en este

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Lecho N°:																		
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG	BD	PG	E4'	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG	BD	PG	E4'	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG	BD	PG	E4'
4	PG	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG	BD
5	PPG	BD	PG	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4
6	E3	E4	PPG	BD	PG	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2
7	E1	E2	E3	E4	PPG	BD	PG	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
8	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG	BD	PG	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
9	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG	BD	PG	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

5 El ciclo PSA 9-3-4 tiene diez y ocho etapas. Utilizando nueve lechos, el bloque unitario se define por medio de la duración de las dos etapas asignadas como t1 y t2. Por tanto, el ciclo total es 9*(t1+t2). La secuencia de ciclo se describe a continuación con detalle con respecto al Lecho 1 con fines ilustrativos asumiendo que el Lecho 10 está fuera de línea y completamente aislado del resto del proceso. La funcionalidad del ciclo se explica usando el conjunto de válvulas de proceso PSA de hidrógeno que se muestra en la Figura 3. Ahora se describe la secuencia de ciclo de PSA 9-3-4 con referencia a la Tabla 5, y hace referencia a las operaciones de todos los lechos en las etapas particulares.

10 Etapa N°. 1: Tres lechos, concretamente Lecho 1, 8 y 9 están en la etapa de adsorción/alimentación (A1, A5, A3, respectivamente). A continuación las válvulas 011, 012, 081, 082, 091 y 092 están en posición abierta. El Lecho 7 y el Lecho 2 están interaccionando de forma que el Lecho 7 está enviando gas de compensación al Lecho 2 a través del séptimo colector. Para conseguir esta compensación lecho-a-lecho (E1) - (E1'), las válvulas 077, 027, 028 están abiertas y se usa la válvula 078 para controlar la tasa. El Lecho 6 que experimenta la tercera etapa de compensación inferior (E3) está enviando/mandando gas al Lecho 3 por medio del quinto colector. Las válvulas 065, 035, 038 están abiertas y la válvula 068 controla la tasa de la compensación (E3) - (E3'). El Lecho 5, mientras tanto, proporciona gas de purga y purga el Lecho 4. La tasa de la etapa (PPG) se controla por medio de la válvula 058. Las válvulas 053, 043, 048 están completamente abiertas y la válvula 044 controla la presión en el Lecho 4.

20 Etapa N.º 2: Tres lechos, concretamente Lecho 1, 8 y 9 están en la adsorción/proceso de alimentación (A2, A6 y A4, respectivamente). A continuación las válvulas 011, 012, 081, 082, 091 y 092 están en posición abierta. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP) donde parte del gas de producto se recicla de nuevo al proceso por medio del séptimo colector para elevar la presión en el Lecho 2. Las válvulas 027 y 028 están abiertas mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 7 y el lecho 3 están interaccionando de forma que el Lecho 7 está enviando/mandando gas de compensación al Lecho 3 por medio de sexto colector. Para lograr la compensación lecho-a-lecho (E2) - (E2'), las válvulas 076, 036, 038 están abiertas y la válvula 078 se usa para controlar la tasa. El Lecho 6 está en la etapa (E4) que envía gas hasta el Lecho 4 a través del quinto colector. Las válvulas 065, 045, 048 están abiertas y la válvula 068 se usa para controlar la tasa. El Lecho 5 está en modo de regulación (BD) en esta Etapa N.º 2 del ciclo 9-3-4. Las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de control 054.

30 Etapa N.º 3: Caracteriza el mismo lecho, válvula e interacciones de colector que en la Etapa N°. 1. De este modo, en la Etapa N.º 3, el Lecho 2, 9 y 1 están en la fase de adsorción en la que - las válvulas 021, 022, 091, 092, 011 y 012 están abiertas; las etapas de compensación (E1) - (E1') del Lecho 8 y el Lecho 3 - válvulas 087, 037, 038 están abiertas y se usa la válvula 088 para controlar la tasa; la etapa de compensación (E3) - (E3') entre el Lecho 7 y el Lecho 4 - válvulas 075, 045, 048 están abiertas y la válvula 078 controla la tasa; la etapa (PPG) - (PG) entre el Lecho 6 y el Lecho 5 - en la que se emplean las válvulas 068; 063, 053, 058 y la válvula de control 054 para controlar la tasa.

40 En caso de que el sistema PSA necesite una regulación adicional, y aislar un lecho adicional, se emplea un ciclo 8-3-3 recién diseñado. En la presente realización, el ciclo tiene diez y seis etapas con tres alimentaciones paralelas y tres etapas de compensación lecho-a-lecho. Debido que se emplean ocho lechos en el ciclo de diez y seis etapas, la duración del bloque unitario será dos etapas de largo (t1+t2). De este modo, se ilustra la funcionalidad básica del ciclo con referencia a la Tabla 6 y la Figura 3.

Tabla 6: Diagrama de Ciclo 8-3-3

(Regulación de Sistema PSA H₂ de 10 Lechos hasta el Modo de Operación de 8 Lechos)

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Lecho N°:																
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	PPG	BD	PG	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	PPG	BD	PG	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	PPG	BD	PG
4	BD	PG	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	PPG
5	E3	PPG	BD	PG	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2
6	E1	E2	E3	PPG	BD	PG	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
7	A5	A6	E1	E2	E3	PPG	BD	PG	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
8	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	PPG	BD	PG	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

5 Etapa N.º 1: Tres lechos son alimentaciones de procesado (es decir, está en la etapa de adsorción), en concreto, los Lechos 1, 7 y 8. Durante esta etapa, las válvulas 011, 012, 071, 072, 081 y 082 están abiertas. El Lecho 6 y el Lecho 2 están en comunicación ejecutando la etapa de compensación (E1) - (E1'), mientras que las válvulas 067, 027, 028 están abiertas y la se emplea la válvula 068 para controlar la tasa. Al mismo tiempo, el Lecho 5 está experimentando la tercera etapa de compensación inferior (E3) enviando gas hasta el Lecho 3 en la etapa (E3'). Las válvulas 055, 035, 038 están abiertas y la válvula 058 controla la tasa de la compensación (E3) - (E3'). El Lecho 4 durante esta etapa está en modo/etapa de soplado (BD). Las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de control 044.

15 Etapa N.º 2: Tres lechos son alimentaciones de procesado (es decir, está en la etapa de adsorción), en concreto, los Lechos 1, 7 y 8. A continuación, las válvulas 011, 012, 071, 072, 081 y 082 están abiertas. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP). Las válvulas 027 y 028 están abiertas mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 6 y el Lecho 3 están en las etapas de compensación (E2) - (E2'). Las válvulas 067, 037, 038 están abiertas y la válvula 068 se usa para controlar la tasa. El Lecho 5 está proporcionando el gas de purga (PPG1) para purgar el Lecho 4 (PPG1). La tasa de la etapa (PPG1) se controla por medio de la válvula 058, mientras que las válvulas 053, 043, 048 están completamente abiertas y la válvula 044 controla presión en el Lecho 4.

20 En la etapa siguiente de una regulación, el sistema PSA reduce los lechos de operación a siete. El modo de operación de siete lechos utiliza un nuevo ciclo 7-2-3 como se resume en la Tabla 7. Es un ciclo de veinte y una etapas con dos alimentaciones paralelas y tres etapas de compensación lecho-a-lecho. Dado que se utilizan siete lechos en un ciclo de veinte y una etapas, la duración del bloque unitario será de tres de etapa de longitud (t1+t2+t3). La funcionalidad básica se ilustra en la Tabla 7 y en la Figura 3, y se comenta con respecto a las etapas 1-3 para una definición completa de ciclo.

Tabla 7: Diagrama de Ciclo 7-2-3

(Regulación de Sistema de PSA H₂ de 10 Lechos hasta Modo de Operación de 7 Lechos)

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Lecho N°:																					
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E1	E2	PPG1	E3	PPG2	BD1	BD2	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	E1'	PP
2	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E1	E2	PPG1	E3	PPG2	BD1	BD2	PG2	PG1	E3'	E2'
3	PG1	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E1	E2	PPG1	E3	PPG2	BD1	BD2	PG2
4	BD1	BD2	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E1	E2	PPG1	E3	PPG2
5	PPG1	E3	PPG2	BD1	BD2	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E1	E2
6	E1	E1	E2	PPG1	E3	PPG2	BD1	BD2	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
7	A4	A5	A6	E1	E1	E2	PPG1	E3	PPG2	BD1	BD2	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3

Etapa N.º 1: Dos lechos están procesando alimentación (es decir, están en la etapa de adsorción), concretamente el

Lecho 1 y el Lecho 7. Como resultado de ello, las válvulas 011, 012, 071 y 072 están abiertas. El Lecho 6 y el Lecho 2 están en comunicación, ejecutando la etapa de compensación (E1) - (E1'), mientras que las válvulas 067, 027, 028 están abiertas y se emplea la válvula 068 para controlar la tasa. El Lecho 5 está proporcionando el gas de purga (PPG1) para purgar el Lecho 3 (PG1). La tasa de la etapa (PPG1) se controla por medio de la válvula 058, y las válvulas 053, 033, 038 están completamente abiertas mientras que la válvula 034 controla la presión en el Lecho 3. Mientras tanto, el Lecho 4 está en la etapa de soplado (BD1). Las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de control 044.

Etapa N° 2: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 7. Como resultado de ello, las válvulas 011, 012, 071 y 072 están abiertas. El Lecho 6 y el Lecho 2 están en comunicación, ejecutando la etapa de compensación (E1) - (E1'), mientras que las válvulas 067, 027, 028 están abiertas y se emplea la válvula 068 para controlar la tasa. El Lecho 5 y el Lecho 3 están en las etapas (E3) - (E3'), mientras que las válvulas 055, 035, 038 están abiertas y se emplea la válvula 058 para controlar la tasa. El Lecho 4 está en la etapa de soplado (BD2). Las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de control 044.

Etapa N° 3: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 7. Por consiguiente, las válvulas 011, 012, 071 y 072 están abiertas. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP). Las válvulas 027 y 028 están abiertas mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 6 y el Lecho 3 están en las etapas (E2) - (E2'), mientras que las válvulas 065, 035, 038 están abiertas y se emplea la válvula 068 para controlar la tasa. El Lecho 5 está proporcionando el gas de purga (PPG2) para purgar el Lecho 4 (PG2). La tasa de la etapa (PPG2) se controla por medio de la válvula 058. Las válvulas 053, 043, 048 están completamente abiertas y la válvula 044 controla la presión en el Lecho 4 (es decir, durante la etapa (PG2)).

En la siguiente regulación, se emplea un sistema de PSA de seis lechos. El modo de operación de seis lechos emplea el nuevo ciclo 6-2-3 resumido en la Tabla 8, siguiente. El ciclo tiene diez y ocho etapas con dos alimentaciones paralelas y tres etapas de compensación lecho-a-lecho. Debido a seis lechos se encajan con un ciclo de diez y ocho etapas (18 ÷ 6), se deben describir tres etapas de ciclo y sus tiempos (t₁, t₂, t₃) para la definición del ciclo completo. La funcionalidad básica se ilustra usando la Tabla 8 y la Figura 3.

Tabla 8: Diagrama de Ciclo 6-2-3

(Regulación de Sistema PSA de H₂ de 10 Lechos hasta Modo de Operación de 6 Lechos)

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Lecho N°:																			
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6/PP	E1	E1'	E2	PPG	E3'	BD1	BD2	PG	E3'	E2'	E1'	E1'	PP
2	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6/PP	E1	E1	E2	PPG	E3'	BD1	BD2	PG	E3'	E2'
3	PG	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6/PP	E1	E1	E2	PPG	E3'	BD1	BD2
4	PPG	E3'	BD2	PG	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6/PP	E1	E1	E2	
5	E1	E1	E2	PPG	E3'	BD1	BD2	PG	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6/PP
6	A4	A5	A6/PP	E1	E1	E2	PPG	E3'	BD1	BD2	PG	E3'	E2'	E1'	E1'	PP	A1	A2	A1

Etapa N.º 1: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 6. A continuación, las válvulas 011, 012, 061 y 062 están abiertas. El Lecho 5 y el Lecho 2 están en comunicación ejecutando las etapas (E1) - (E1'), mientras que las válvulas 057, 027, 028 están abiertas y la válvula 058 se emplea para controlar la tasa. El Lecho 4 está proporcionando el gas de purga (PPG) para purgar el Lecho 3 (PG). La tasa de la etapa (PPG) se controla por medio de la válvula 048. Mientras tanto, las válvulas 043, 033, 038 están completamente abiertas y se utiliza la válvula 034 para controlar la presión en el Lecho 3.

Etapa N.º 2: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 6. Por tanto, las válvulas 011, 012, 061 y 062 están abiertas. El Lecho 5 y el Lecho 2 están continuando en las etapas (E1) - (E1'), y las válvulas 057, 027, 028 están abiertas, mientras que la válvula 058 se usa para controlar la tasa. El Lecho 4 y el Lecho 3 están experimentando las etapas (E3/BD1) - (E3') (es decir, solapando la etapa de compensación de baja presión y el soplado). Las válvulas 045, 035, 038 están abiertas y se usa la válvula 048 para controlar la tasa de la etapa (E3) al Lecho 3. Al mismo tiempo, se ha soplado el Lecho 4 a través de la válvula 044 y el gas de la etapa (BD1) se dirige a través del tambor de sobrecarga por medio del cuarto colector.

En la Etapa N.º 3, dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 6, mientras que las válvulas 011, 012, 061 y 062 están en posición abierta. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP). Las válvulas 027 y 028 están abiertas mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 5 y el Lecho 3 están en comunicación ejecutando las etapas (E2) - (E2'). Las válvulas 055, 035, 038 están abiertas y se usa la válvula 058 para controlar la tasa. El Lecho 4 está en la etapa de soplado (BD2), cuando el lecho se despresuriza en contra-corriente y su contenido se libera al tambor de sobrecarga a través de la

válvula 044 y el cuarto colector.

En el modo de operación de cinco lechos, el sistema PSA utiliza un nuevo ciclo 5-2-2 que se resume en la Tabla 9, siguiente. El modo de cinco lechos se considera el último modo de regulación para un sistema de PSA de diez lechos. Es un ciclo de quince etapas con dos alimentaciones paralelas y dos etapas de compensación lecho-a-lecho.

5 Debido a que se usan cinco lechos con un ciclo de quince etapas (15 ÷ 5), se deben describir tres etapas de ciclos y sus tiempos (t_1 , t_2 , t_3) para la definición del ciclo completo. La funcionalidad básica se ilustra usando la Tabla 9 y la Figura 3.

Tabla 9: Diagrama de Ciclo 5-2-2

(Regulación de Sistema PSA de H₂ de 10 Lechos hasta Modo de Operación de 5 Lechos)

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Lecho N.º															
1	A1	A2	A3	A4	A5 PP1	A6 PP2	E1	PPG	E2	BD	PG	E2'	E1'	PP1	PP2
2	E1'	PP1	PP2	A1	A2	A3	A4	A5 PP1	A6 PP2	E1	PPG	E2	BD	PG	E2'
3	BD	PG	E2'	E1'	PP1	PP2	A1	A2	A3	A4	A5 PP1	A6 PP2	E1	PPG	E2
4	E1	PPG	E2	BD	PG	E2'	E1'	PP1	PP2	A1	A2	A3	A4	A5 PP1	A6 PP2
5	A4	A5 PP1	A6 PP2	E1	PPG	E2	BD	PG	E2'	E1'	PP1	PP2	A1	A2	A3

10 Etapa N.º 1: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 5. Las válvulas 011, 012, 051 y 052 están en posición abierta. El Lecho 4 y el Lecho 2 están en comunicación ejecutando las etapas (E1) - (E1'), mientras que las válvulas 047, 027, 028 están abiertas. Mientras tanto, la válvula 048 se usa para controlar la tasa. El Lecho 3 está en la etapa de soplado (BD), y las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de control 034.

15 Etapa N.º 2: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 5, mientras que las válvulas 011, 012, 051 y 052 están abiertas. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP). Las válvulas 027 y 028 están abiertas, mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 4 está proporcionando el gas de purga (PPG) para purgar el Lecho 3 (PG). La tasa de la etapa (PPG) se controla por medio de la válvula 048, mientras que las válvulas 043, 033, 038 están completamente abiertas y la válvula 034 se usa para controlar la presión en el Lecho 3.

20 Etapa N.º 3: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 5. Como resultado de ello, las válvulas 011, 012, 051 y 052 están abiertas. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP). Las válvulas 027 y 028 están abiertas, mientras que la válvula 007 controla el caudal de esta etapa. El Lecho 4 y el Lecho 3 están en las etapas (E2) - (E2'), con las válvulas 047, 037, 038 en posición abierta y la válvula 048 empleada para controlar la tasa.

25 Además de los ciclos de proceso de PSA descritos anteriormente, los ciclos alternativos pueden ofrecer mejor rendimiento de proceso en determinadas situaciones. Por ejemplo, se puede satisfacer la relación de presión del proceso, los valores de presión elevados o bajos diferentes de los normales (aprox. 20) o la demanda temporal de una mayor producción de hidrógeno, mediante la utilización del ciclo 10-4-3 en lugar del ciclo 10-3-5 preferido descrito anteriormente.

30 El ciclo PSA 10-2-5 nuevo y alternativo tiene veinte etapas y utiliza diez lechos. Se define el bloque unitario por medio de la duración de dos etapas t_1+t_2 y $CT = 10*(t_1+t_2)$. El ciclo caracteriza dos alimentaciones paralelas y cinco compensaciones lecho-a-lecho. Mediante la descripción de todos los eventos e interacciones para las primeras dos etapas el ciclo se puede definir de forma completa. La Figura 3 junto con la Tabla 10, a continuación, se utilizan para ilustrar el ciclo.

Tabla 10: Diagrama de Ciclo 10-2-5
(Operación de Sistema PSA de H₂ de 10 Lechos Alternativo)

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lecho N°:																				
1	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5	E4	E3	E2	E1	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5	E4	E3	E2
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5	E4
4	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1
5	PPG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD
6	PPG2	BD	PG2	PG1	E5	E4	E3	E2	E1	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1
7	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4
8	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5	E4	E3	E2	E1	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2
9	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5	E4	E3	E2	E1	PP	A1	A2	A3	A4
10	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5	E4	E3	E2	E1	PP	A1	A2

5 Etapa N.º 1: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 10, mientras que las válvulas 011, 012, 101 y 102 están en posición abierta. El Lecho 9 y el Lecho 2 están interaccionando de forma que el Lecho 9 está enviando gas de compensación al Lecho 7 a través del séptimo colector. Para lograr las etapas (E1) - (E1'), las válvulas 097, 027, 028 están abiertas y la válvula 098 se usa para controlar la tasa. El Lecho 8 que experimenta la tercera etapa de compensación inferior (E3) está enviando gas al Lecho 3 (E3') por medio del sexto colector. Las válvulas 086, 036, 038 están abiertas y la válvula 088 se usa para controlar la tasa de las etapas (E3) - (E3'). El Lecho 7 experimenta la quinta etapa de compensación inferior (E5) por medio del envío de gas al Lecho 4 por medio del quinto colector. Las válvulas 075, 045, 048 están abiertas y la válvula 078 controla la tasa de las etapas (E5) - (E5'). El Lecho 6 está proporcionando gas de purga pobre en hidrógeno (PPG2) para purgar el Lecho 5. La tasa de la etapa (PPG2) se controla por medio de la válvula 068. Mientras tanto, las válvulas 063, 053, 058 están completamente abiertas y la válvula 054 controla la presión en el Lecho 5.

20 Etapa N.º 2: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 10. Las válvulas 011, 012, 101 y 102 están en posición abierta. El Lecho 2 está en la etapa de compensación de producto (PP), (es decir, parte del producto se recicla de nuevo al proceso para elevar la presión del Lecho 2). Las válvulas 027 y 028 están abiertas, mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 9 y el Lecho 3 están interaccionando de forma que el Lecho 9 están enviando gas de compensación al Lecho 3 por medio del sexto colector. Para lograr las etapas (E2) - (E2'), las válvulas 096, 036, 038 están abiertas y la válvula 098 se usa para controlar la tasa. El Lecho 8 experimenta la cuarta etapa de compensación inferior (E4) por medio del envío de gas al Lecho 4 por medio del quinto colector. Las válvulas 085, 045, 048 están abiertas y la válvula 088 controla la tasa de las etapas (E4) - (E4'). El Lecho 7 está proporcionando gas de purga rico en hidrógeno al Lecho 5. La tasa de la etapa (PPG1) se controla por medio de la válvula 078, mientras que las válvulas 073, 053, 058 están completamente abiertas y la válvula 054 controla la presión en el Lecho 5. El Lecho 6 está en la etapa de soplado (BD), y las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de control 064.

30 Otro aspecto del ciclo de PSA comentado en la presente memoria es la regeneración continua de los lechos a través del reflujo secuencial. Como se hace referencia en la presente memoria, y con referencia al lecho individual en el ciclo, el reflujo secuencial debería comprenderse como que las etapas de purga secuencial (PG) y la compensación superior (E4'-E1') se llevan a cabo mediante el uso de gas con la menor pureza de hidrógeno al comienzo del reflujo, seguido del aumento de la pureza de hidrógeno que regenera el lecho hasta niveles de presión de adsorción/producción. Los ciclos de PSA que caracterizan más de una etapa de purga tienen fuentes de gas disponibles para las etapas de purga. La regeneración de adsorbentes se logra de la mejor manera cuando los gases PPG se usan de forma que el gas que contiene la mayor parte de las impurezas se usa en primer lugar, a continuación se usan gases más limpios y el gas de hidrógeno más limpio se usa en último lugar. En particular en el ciclo PSA 10-2-5, el gas de la etapa (PPG2) procedió del lecho a una presión menor que el gas de la etapa (PPG1) y, de este modo, contiene un nivel más alto de impurezas - gas de purga pobre en hidrógeno. La presión del lecho disminuye durante el ciclo a partir de la presión de adsorción (máxima) al comienzo de la etapa (E1) a través de las etapas (E2), (E3), (E4), (E5) hasta la etapa (PPG1) y la etapa siguiente (PPG2). Con el fin de maximizar el proceso de regeneración de adsorbente, se debería usar el gas pobre en hidrógeno (PPG2) en primer lugar (Etapa N.º. 13 - etapa (PG2)) y a continuación el gas rico en hidrógeno (PPG1) en la Etapa N.º. 14 - etapa (PG1). Este concepto conocido como protocolo de reflujo secuencial siempre da lugar a una fuerza de accionamiento de transferencia de masa más elevada, lo cual tiene como resultado un proceso de regeneración más eficaz, y se comenta con detalle

ES 2 647 870 T3

en el documento también propiedad de Baksh et al, patente de Estados Unidos N°. 6.007.606.

En otra realización, un nuevo ciclo PSA 10-3-4 tiene veinte etapas y utiliza diez lechos, el bloque unitario se define por medio de la duración de dos etapas t_1+t_2 y tiempo de ciclo $CT = 10*(t_1+t_2)$. Este ciclo caracteriza tres alimentaciones paralelas y cuatro compensaciones lecho-a-lecho. Mediante la descripción de todos los eventos e interacciones para las primeras dos etapas, el ciclo se define de forma completa. La Figura 3 junto con la Tabla 11, a continuación, se utilizan para ilustrar el ciclo.

Tabla 11: Diagrama de Ciclo 10-3-4
(Operación de Sistema PSA de H₂ de 10 Lechos Alternativo)

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lecho N°:																				
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'
4	PPG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2
5	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2
6	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4
7	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2
8	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
9	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
10	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

- 10 Etapa N.º 1: Tres lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1, Lecho 9 y el Lecho 10, mientras que las válvulas 011, 012, 091, 092, 101 y 102 están en posición abierta. El Lecho 8 y el Lecho 2 están interaccionando de forma que el Lecho 8 está enviando gas de compensación al Lecho 2 a través del séptimo colector. Para llevar a cabo las etapas (E1) - (E1'), las válvulas 087, 027, 028 están abiertas y la válvula 088 se usa para controlar la tasa. El Lecho 7 experimenta la tercera etapa de compensación inferior (E3) mediante el envío de gas al Lecho 3 a través del sexto colector. Las válvulas 076, 036, 038 están abiertas y la válvula 078 se usa para controlar la tasa de las etapas (E3) - (E3'). El Lecho 6 está en la etapa de suministro de gas de purga (PPG1) (gas de purga rico en hidrógeno), enviando gas al Lecho 4 a través del tercer colector. Las válvulas 063, 043, 048 están abiertas y la válvula 068 controla la tasa de la etapa (PPG1). El Lecho 5 está en modo de soplado (BD) y las impurezas sometida a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de control 054.
- 15
- 20 Etapa N.º 2: Tres lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1, Lecho 9 y el Lecho 10, mientras que las válvulas 011, 012, 091, 092, 101 y 102 están en posición abierta. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP) (es decir, parte del gas de producto se recicla de nuevo al proceso para elevar la presión en el Lecho 2). Las válvulas 027 y 028 están abiertas mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 8 y el Lecho 3 están interaccionando de forma que el Lecho 8 está enviando gas de compensación al Lecho 3 a través del sexto colector. Para llevar a cabo las etapas (E2) - (E2'), las válvulas 086, 036, 038 están abiertas y la válvula 088 se emplea para controlar la tasa. El Lecho 7 experimenta la cuarta etapa de compensación inferior (E4) mediante el envío del gas al Lecho 4 por medio del quinto colector. Las válvulas 075, 045, 048 están abiertas y la válvula 078 controla la tasa de las etapas (E4) - (E4'). El Lecho 6 durante esta etapa está proporcionando gas de purga al Lecho 4. La tasa de la etapa (PPG2) (es decir, gas de purga pobre en hidrógeno) se controla por medio de la válvula 068. Las válvulas 063, 053, 058 están en posición completamente abierta y se emplea la válvula 054 para controlar la presión en el Lecho 5 (es decir, la etapa (PG2)).
- 25
- 30
- 35 Otro ciclo alternativo al ciclo PSA 10-3-5 es la operación de un nuevo ciclo PSA 10-4-3 cuando se requiere un rendimiento de hidrógeno más elevado. Este ciclo PSA 10-4-3 se caracteriza por cuatro alimentaciones paralelas y tres etapas de compensación lecho-a-lecho. Es un ciclo de veinte etapas que utiliza diez lechos. De este modo, el bloque unitario se define mediante la duración de dos etapas t_1+t_2 y el tiempo de ciclo total $CT = 10*(t_1+t_2)$. Mediante la descripción de todos los episodios e interacciones para las primeras dos etapas, el ciclo se define de forma completa. La Figura 3 junto con la Tabla 12, siguientes, se utilizan para ilustrar el ciclo.

Tabla 12: Diagrama de Ciclo 10-4-4
(Operación de Sistema PSA de H₂ de 10 Lechos Alternativo)

Etapas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lecho N°:																				
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'
3	E3	E2	E1	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1
4	PPG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD
5	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	E1	E2	E3	PPG1
6	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	E1	E2
7	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
8	A7	A6	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
9	A5	A6	A7	A8	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
10	A3	A4	A5	A6	A7	A8	E1	E2	E3	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

5 Etapa N.º 1: Cuatro lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1, Lecho 8, Lecho 9 y el Lecho 10, mientras que las válvulas 011, 012, 081, 082, 091, 092, 101 y 102 se mantienen en posición abierta. El Lecho 7 y el Lecho 2 están interaccionando de forma que el Lecho 7 está enviando/mandando gas de compensación al Lecho 2 a través del séptimo colector. Para llevar a cabo las etapas (E1) - (E1'), las válvulas 077, 027, 028 están abiertas y la válvula 078 se usa para controlar la tasa. El Lecho 6 experimenta la tercera etapa de compensación inferior (E3) mediante el envío de gas al Lecho 3 a través del sexto colector. Las válvulas 066, 036, 038 están abiertas y la válvula 068 se usa para controlar la tasa de las etapas (E3) - (E3'). El Lecho 5 está en la etapa de suministro de gas de purga pobre en hidrógeno al Lecho 4. La tasa de la etapa (PPG2) se controla por medio de la válvula 058. Las válvulas 053, 043, 048 están en posición completamente abierta, y la válvula 044 controla la presión en el Lecho 4.

15 Etapa N.º 2: Cuatro lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1, Lecho 8, Lecho 9 y el Lecho 10, mientras que las válvulas 011, 012, 081, 082, 091, 092, 101 y 102 se mantienen en posición abierta. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP) (es decir, parte del gas de producto se recicla de nuevo al proceso para elevar la presión en el Lecho 2). Las válvulas 027 y 028 están abiertas mientras que la válvula 007 controla la tasa de esta etapa. El Lecho 7 y el Lecho 3 están interaccionando de forma que el Lecho 7 está enviando gas de compensación al Lecho 3 a través del sexto colector. Para llevar a cabo las etapas (E2) - (E2'), las válvulas 076, 036, 038 están abiertas y la válvula 078 se emplea para controlar la tasa. El Lecho 6 está suministrando gas de purga rico en hidrógeno al Lecho 4. La tasa de la etapa (PPG1) se controla por medio de la válvula 068; las válvulas 063, 043, 048 que están completamente abiertas y la válvula 044 controla la presión en el Lecho 4. El Lecho 5 está en la etapa de soplado (BD) y las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de controla 054. Además, como se muestra en la Tabla 12, el ciclo 10-4-3 sigue el protocolo de reflujo secuencial.

30 Un ciclo de PSA alternativo al ciclo 9-3-4 en modo de regulación es un nuevo ciclo PSA 9-2-4 que ofrece una ventaja de recuperación adicional a costa de un menor rendimiento, en comparación con la técnica relacionada. El ciclo PSA 9-2-4 se caracteriza por dos alimentaciones paralelas y cuatro etapas de compensación lecho-a-lecho. Es un ciclo de diez y ocho etapas que utiliza nueve lechos. De este modo, el bloque unitario se define mediante la duración de dos etapas t_1+t_2 y $CT = 9*(t_1+t_2)$. Mediante la descripción de todos los episodios e interacciones para las dos primeras etapas, el ciclo se define de forma completa. La Figura 3 con la Tabla 13, siguientes, se utilizan para ilustrar el ciclo.

Tabla 13: Diagrama de Ciclo 9-2-4
(Operación de Sistema PSA de H₂ de 9 Lechos Alternativo)

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Lecho N°:																		
1	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'
4	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2
5	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2
6	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4
7	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2
8	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
9	A3	A4	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

- 5 Etapa N.º 1: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 9, mientras que las válvulas 011, 012, 091 y 092 están en posición abierta. El Lecho 8 y el Lecho 2 están interaccionando de forma que el Lecho 8 está enviando gas de compensación al Lecho 2 a través del séptimo colector. Para llevar a cabo las etapas (E1) - (E1'), las válvulas 087, 027, 028 están abiertas y la válvula 088 se usa para controlar la tasa. El Lecho 7 experimenta la tercera etapa de compensación inferior (E3) mediante el envío de gas al Lecho 3 a través del sexto colector. Las válvulas 076, 036, 038 están abiertas y la válvula 078 se usa para controlar la tasa de las etapas (E3) - (E3'). El Lecho 6 suministra de gas de purga rico en hidrógeno el Lecho 4. La tasa de la etapa (PPG1) se controla por medio de la válvula 068 y las válvulas 063, 043, 048 están en posición completamente abierta, mientras que la válvula 044 controla la presión en el Lecho 4. El Lecho 5 están en etapa/modo de soplado (BD), y las impurezas sometidas a desorción abandonan el lecho a través de la válvula de controla 054.
- 10
- 15 Etapa N.º 2: Dos lechos están procesando alimentación (etapa de adsorción), concretamente el Lecho 1 y el Lecho 9, mientras que las válvulas 011, 012, 091 y 092 están en posición abierta. El Lecho 2 está en la etapa de presurización de producto (PP) (es decir, parte del gas de producto se recicla de nuevo al proceso para elevar la presión en el Lecho 2). Las válvulas 027 y 028 están abiertas mientras que la válvula 007 controla el caudal de esta etapa. El Lecho 8 y el Lecho 3 están interaccionando de forma que el Lecho 8 está enviando gas de compensación al Lecho 3 a través del sexto colector. Para llevar a cabo las etapas (E2) - (E2'), las válvulas 086, 036, 038 están abiertas y la válvula 088 se emplea para controlar la tasa. El Lecho 7 experimenta la cuarta etapa de compensación inferior (E4) mediante el envío del gas al Lecho 4 por medio del quinto colector. Mientras tanto, las válvulas 075, 045, 048 están abiertas y la válvula 078 controla la tasa de las etapas (E4) - (E4'). El Lecho 6 está proporcionando gas de purga pobre en hidrógeno al Lecho 5. La tasa de la etapa (PPG2) se controla por medio de la válvula 068. Las válvulas 063, 053, 058 están en posición completamente abierta y se emplea la válvula 054 para controlar la presión en el Lecho 5. Como se muestra en la Tabla 13, anterior, el ciclo 9-2-4 sigue el protocolo de reflujo secuencial comentado con anterioridad.
- 20
- 25

30 Aunque la invención se ha descrito con detalle con referencia a las realizaciones específicas de la misma, resulta evidente para el experto en la técnica que se pueden realizar diversos cambios y modificaciones, y equivalentes empleados, sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1.- Un proceso de adsorción por oscilación de presión para separar un gas de alimentación de suministro presurizado que contiene uno o más componentes de adsorción intensa de al menos un componente de gas de producto de adsorción menos intensa en un sistema de adsorción de oscilación de presión de diez lechos para producir una corriente continua de gas de producto enriquecida en el componente de adsorción menos intensa y una corriente continua de gas de escape que está enriquecida en los componentes de adsorción más intensa, en el que el ciclo de proceso tiene veinte etapas que incluyen etapas de compensación lecho-a-lecho, mientras que dos de los lechos están en producción, de acuerdo con el siguiente diagrama de ciclo:

Etapa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lecho N°:																				
1	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'
4	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1
5	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD
6	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1
7	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2	E3	E4
8	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	E1	E2
9	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
10	A3	A4	E1	E2	E3	E4	E5	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

10 en el que

A1 = Primera Etapa de Adsorción

A2 = Segunda Etapa de Adsorción

A3 = Tercera Etapa de Adsorción

A4 = Cuarta Etapa de Adsorción

15 E1 = Primera Compensación Inferior

E2 = Segunda Compensación Inferior

E3 = Tercera Compensación Inferior

E4 = Cuarta Compensación Inferior

E5 = Quinta Compensación Inferior

20 PPG1 = Primera Etapa de Suministro de Gas de Purga

PPG2 = Segunda Etapa de Suministro de Gas de Purga

BD = Soplado

PG2 = Etapa de Purga que usa gas procedente de la Etapa PPG2

PG1 = Etapa de Purga que usa gas procedente de la Etapa PPG1

25 E5' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E5)

E4' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E4)

E3' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E3)

E2' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E2)

E1' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E1)

30 PP = Presurización de Producto

2.- Un proceso de adsorción por oscilación de presión para separar un gas de alimentación de suministro presurizado que contiene uno o más componentes de adsorción intensa de al menos un componente de gas de

producto de adsorción menos intensa en un sistema de adsorción de oscilación de presión de diez lechos para producir una corriente continua de gas de producto enriquecido en el componente de adsorción menos intensa y una corriente continua de gas de escape que está enriquecida en los componentes de adsorción más intensa, en el que el ciclo de proceso tiene veinte etapas que incluyen etapas de compensación lecho-a-lecho, mientras que tres de los lechos están en producción, de acuerdo con el siguiente diagrama de ciclo:

5

Etapas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lecho N°:																				
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'
4	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2
5	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2
6	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4
7	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2
8	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
9	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
10	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	PPG1	PPG2	BD	PG2	PG1	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

en el que

A1 = Primera Etapa de Adsorción

A2 = Segunda Etapa de Adsorción

10 A3 = Tercera Etapa de Adsorción

A4 = Cuarta Etapa de Adsorción

A5 = Quinta Etapa de Adsorción

A6 = Sexta Etapa de Adsorción

E1 = Primera Compensación Inferior

15 E2 = Segunda Compensación Inferior

E3 = Tercera Compensación Inferior

E4 = Cuarta Compensación Inferior

PPG1 = Primera Etapa de Suministro de Gas de Purga

PPG2 = Segunda Etapa de Suministro de Gas de Purga

20 BD = Soplado

PG2 = Etapa de Purga que usa gas procedente de la Etapa PPG2

PG1 = Etapa de Purga que usa gas procedente de la Etapa PPG1

E4' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E4)

E3' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E3)

25 E2' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E2)

E1' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E1)

PP = Presurización de Producto

30 3.- Un proceso de adsorción por oscilación de presión para separar un gas de alimentación de suministro presurizado que contiene uno o más componentes de adsorción intensa de al menos un componente de gas de producto de adsorción menos intensa en un sistema de adsorción de oscilación de presión de diez lechos para producir una corriente continua de gas de producto enriquecida en el componente de adsorción menos intensa y una corriente continua de gas de escape que está enriquecida en los componentes de adsorción más intensa, en el que

ES 2 647 870 T3

el ciclo de proceso tiene veinte etapas que incluyen etapas de compensación lecho-a-lecho, mientras que tres de los lechos están en producción, de acuerdo con el siguiente diagrama de ciclo:

Etapas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lecho N°:																				
1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP
2	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'
3	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'
4	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG
5	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG
6	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4
7	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E1	E2
8	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
9	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2	A3	A4
10	A3	A4	A5	A6	E1	E2	E3	E4	E5	PPG	BD	PG	E5'	E4'	E3'	E2'	E1'	PP	A1	A2

en el que

- 5 A1 = Primera Etapa de Adsorción
- A2 = Segunda Etapa de Adsorción
- A3 = Tercera Etapa de Adsorción
- A4 = Cuarta Etapa de Adsorción
- A5 = Quinta Etapa de Adsorción
- 10 A6 = Sexta Etapa de Adsorción
- E1 = Primera Compensación Inferior
- E2 = Segunda Compensación Inferior
- E3 = Tercera Compensación Inferior
- E4 = Cuarta Compensación Inferior
- 15 E5 = Quinta Compensación Inferior
- PPG = Suministro de Gas de Purga
- BD = Soplado
- PG = Etapa de Purga que usa gas procedente de la Etapa PPG
- E5' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E5)
- 20 E4' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E4)
- E3' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E3)
- E2' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E2)
- E1' = Compensación Superior (usando gas procedente de la etapa E1)
- PP = Presurización de Producto.
- 25 4.- El proceso de adsorción de oscilación de presión de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho gas de producto de adsorción menos intensa es hidrógeno.
- 5.- El proceso de adsorción de oscilación de presión de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el gas de alimentación de suministro que contiene uno o más componentes de adsorción intensa está seleccionado entre el grupo que consiste en hidrocarburos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, argón, nitrógeno y vapor de agua.
- 30 6.- El proceso de adsorción de oscilación de presión de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que cada lecho de adsorbente contiene alúmina, carbono y material de zeolita configurado en capas dispuestas en este orden

particular para el procesado de gas de alimentación.

7.- El proceso de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 6, en el que las capas de carbono y zeolita están subdivididas cada una en dos capas con diferente tamaño de partícula.

5 8.- El proceso de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 7, en el que la primera de las capas de carbono subdividida encontrada por el gas de alimentación de suministro tiene un tamaño de partícula de 0,5 a 1,5 mm y una afinidad por la impureza de dióxido de carbono.

9.- El proceso de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 7, donde la segunda de las capas de carbono subdividida encontrada por el gas de alimentación de suministro tiene un tamaño de partícula de 2,0 a 3,0 mm y una afinidad por las impurezas de metano.

10 10.- El proceso de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 7, donde la primera de las capas de zeolita subdividida encontrada por el gas de alimentación de suministro tiene un tamaño de partícula de 0,5 a 2,0 mm y una afinidad por la impureza de monóxido de carbono.

15 11.- El proceso de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 7, donde la segunda de las capas de zeolita subdividida encontrada por el gas de alimentación de suministro tiene un tamaño de partícula de 2,0 a 3,0 mm y una afinidad por la impureza de nitrógeno.

Estructura de capas/configuración de lecho avanzada

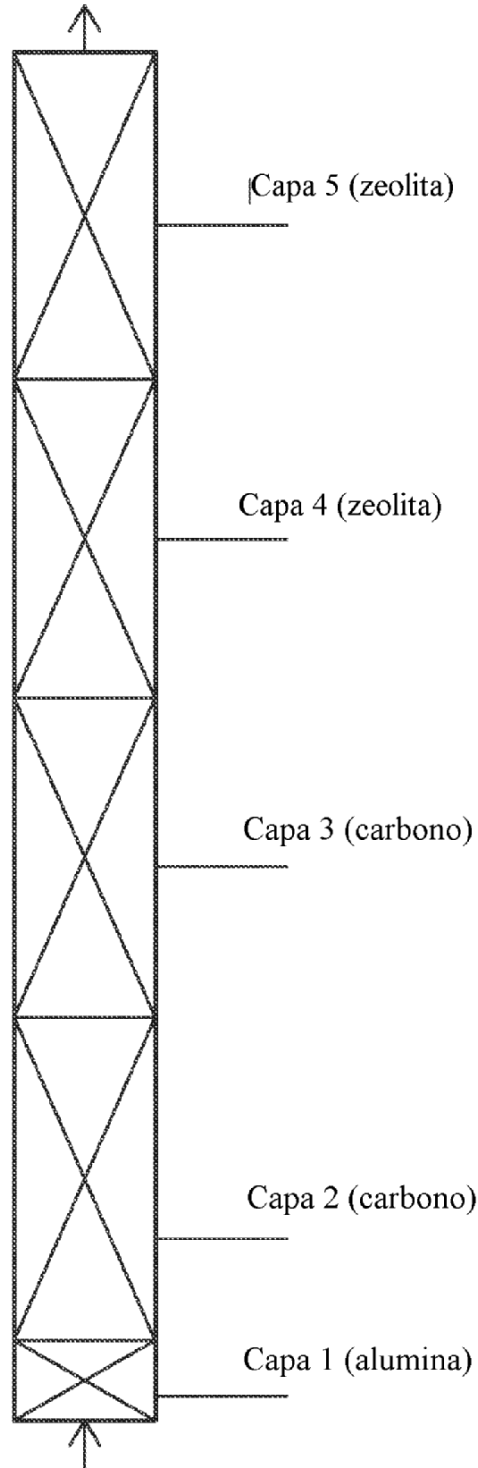


FIG. 1

Tasas de adsorción relativas de N2 y CO frente a diámetro de partícula

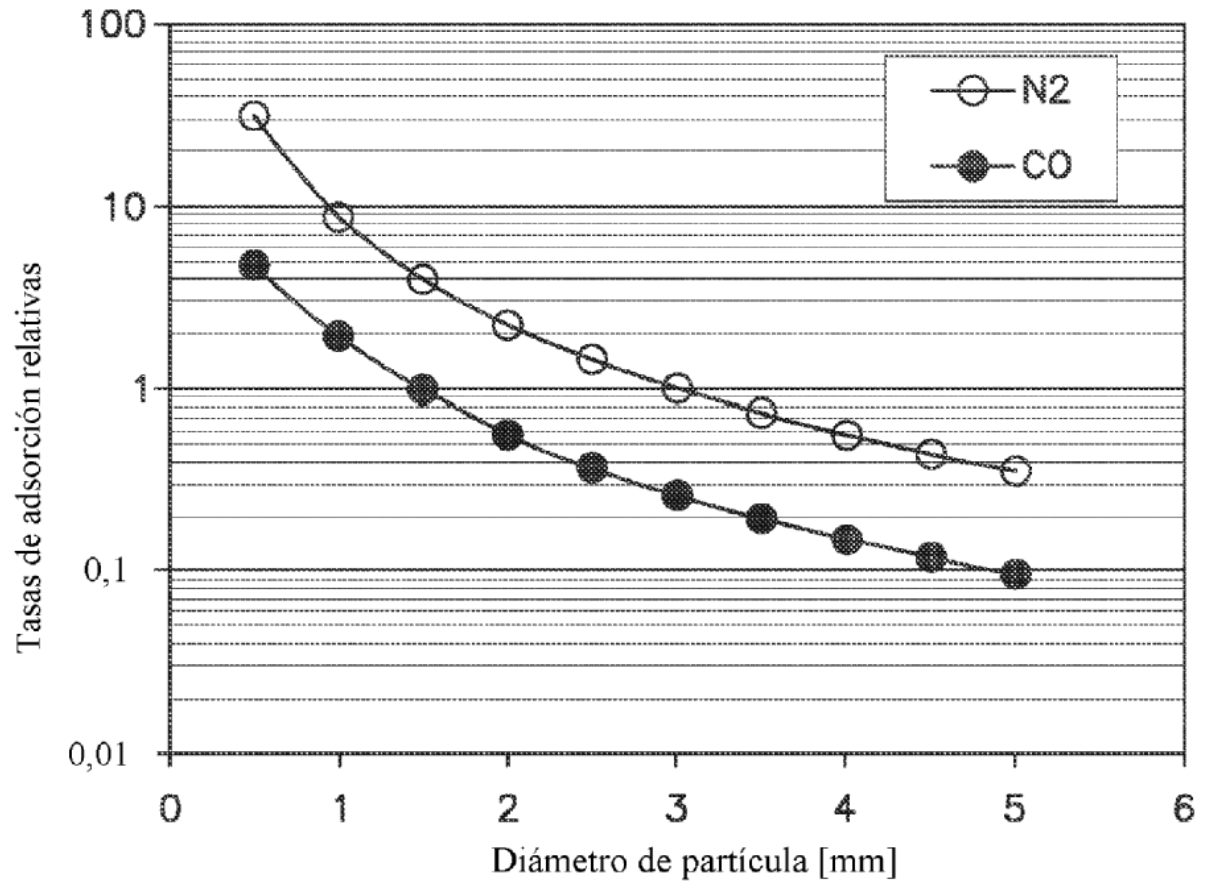


FIG. 2A

Tasas de adsorción relativas de CO₂ y CH₄ frente a diámetro de partícula

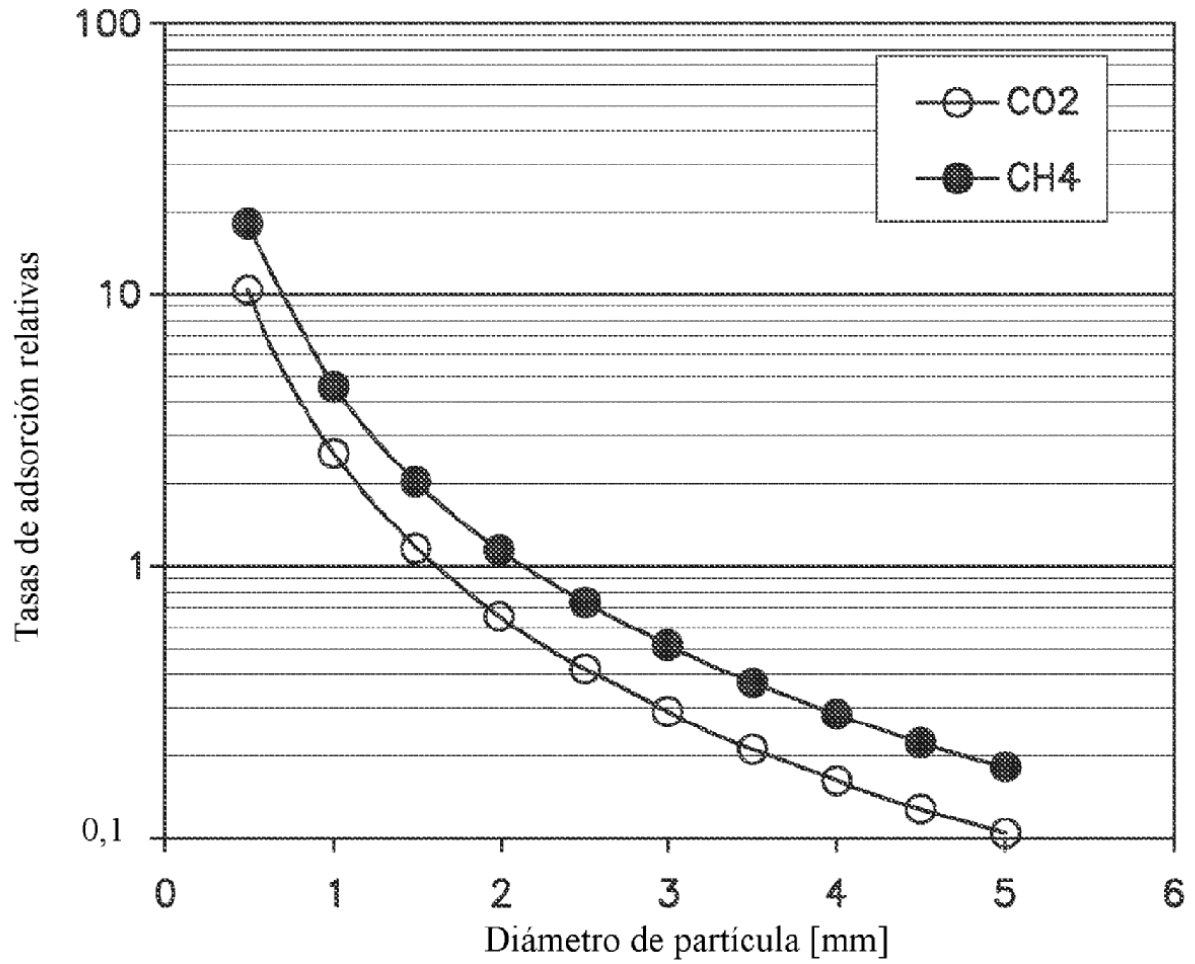


FIG. 2B

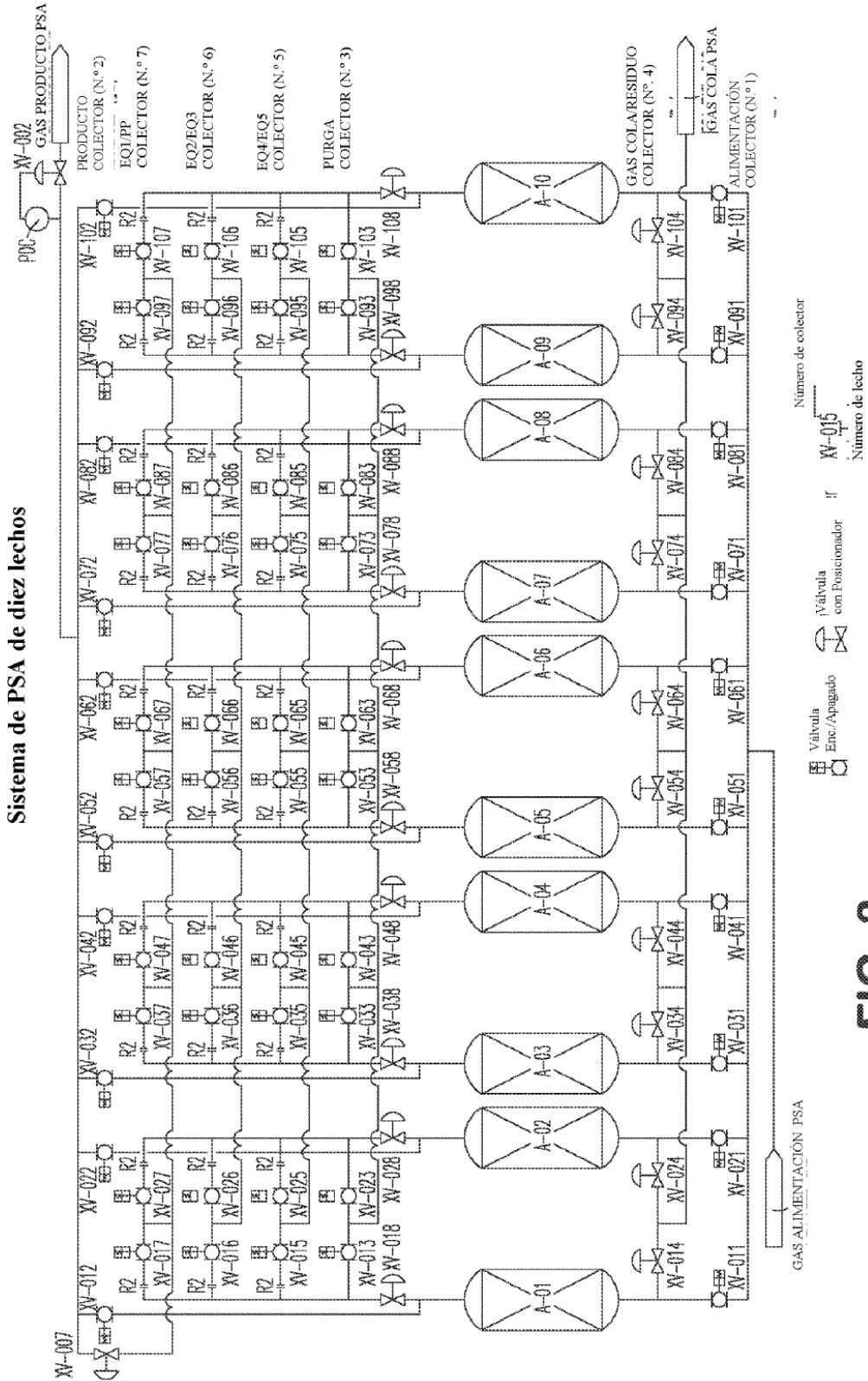


FIG. 3