



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 377 753**

⑯ Int. Cl.:
B01D 53/047 (2006.01)
C01B 3/00 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- ⑯ Número de solicitud europea: **08152817 .6**
⑯ Fecha de presentación: **14.03.2008**
⑯ Número de publicación de la solicitud: **1972367**
⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **24.09.2008**

⑭ Título: **Procedimiento de adsorción para recuperar hidrógeno de mezclas de gases de alimentación con baja concentración de hidrógeno**

⑯ Prioridad:
14.03.2007 US 685992

⑬ Titular/es:
**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.
7201 HAMILTON BOULEVARD
ALLENTOWN, PA 18195-1501, US**

⑭ Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.03.2012

⑬ Inventor/es:
**Golden, Timothy Christopher;
Weist, JR., Edward Landis;
Hufton, Jeffrey Raymond y
Novosat, Paul Anthony**

⑭ Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.03.2012

⑬ Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 377 753 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de adsorción para recuperar hidrógeno de mezclas de gases de alimentación con baja concentración de hidrógeno.

5 ANTECEDENTES

La presente invención se refiere a procedimientos de adsorción por cambios de presión y más en particular a tales procedimientos para recuperar hidrógeno con altas recuperaciones y altas purezas como producto no adsorbido de una mezcla de gases de alimentación con concentración de hidrógeno relativamente baja.

10 Los procedimientos de adsorción por cambios de presión son conocidos para la separación de mezclas de gases que contienen componentes con diferentes características de adsorción. Por ejemplo, la producción de hidrógeno por adsorción por cambios de presión es una industria multimillonaria en dólares que suministra hidrógeno de alta pureza para industrias que producen productos químicos, refinado de metales y otras industrias relacionadas. El hidrógeno se separa típicamente de mezclas de gases con alta concentración de hidrógeno, por ejemplo de reformadores con o sin reactores de desplazamiento.

15 20 La patente de EE.UU. A-3.986.849, por ejemplo, explica un procedimiento de adsorción por cambios de presión adiabático para conseguir altos niveles de recuperación de hidrógeno de una alimentación con una alta concentración de H₂. En las realizaciones exemplificadas el hidrógeno se recupera de una alimentación que comprende 77,1% o 75% de H₂, en la que la disminución de la presión en los lechos del sistema de adsorción por cambios de presión durante la etapa de extracción es aproximadamente tres quintos o aproximadamente tres cuartos la de la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada (es decir, la etapa en que el lecho está proporcionando un gas de purga a otro lecho que está experimentando la etapa de purga).

25 Típicamente, se queman mezclas de gases que contienen bajas concentraciones de hidrógeno como combustible para recuperar el poder calorífico del hidrógeno.

30 35 Hay aplicaciones en que sería útil la recuperación de hidrógeno de mezclas de gases de alimentación con baja concentración de hidrógeno. Por ejemplo, en una pila de combustible de carbonato fundido, se hace pasar gas de síntesis (un gas que comprende monóxido de carbono e hidrógeno) a un compartimento anódico mientras se hace pasar un gas oxidante, típicamente aire, al compartimento catódico. El gas de escape del ánodo contiene combustible sin reaccionar (monóxido de carbono e hidrógeno) así como agua y dióxido de carbono. Para mejorar la eficacia de la pila de combustible, se pueden separar monóxido de carbono e hidrógeno del dióxido de carbono y agua y se puede reciclar el monóxido de carbono e hidrógeno al ánodo como se describe en la Patente de EE.UU. Nº 4.532.192 y la Publicación de Patente de EE.UU. 2004/0229102. El dióxido de carbono que se separó se puede reciclar al cátodo ya que se requiere dióxido de carbono para pilas de combustible de carbonato fundido.

40 45 Puede ser deseable recuperar hidrógeno puro de la corriente de escape del ánodo. En este caso, se puede usar el hidrógeno puro como combustible para una pila de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM, por sus siglas en inglés) o se podía almacenar para uso en vehículos de pila de combustible. En esta aplicación, la composición del gas de escape anódico, después de la reacción de desplazamiento agua-gas, puede contener aproximadamente 70% de dióxido de carbono, 25% de hidrógeno y 5% de agua, con menos de 1% de monóxido de carbono, nitrógeno y metano.

50 Un problema al que se enfrenta la industria de las pilas de combustible es recuperar un alto porcentaje de hidrógeno de mezclas de gases de alimentación que contienen bajas concentraciones de hidrógeno. Sería deseable obtener hidrógeno de alta pureza de mezclas de gases de alimentación que contengan bajas concentraciones de hidrógeno con alta recuperación de hidrógeno.

55 Una opción que se considera para distribuir hidrógeno en la futura economía de hidrógeno se centra en la separación de hidrógeno diluido de gas natural. Se produce hidrógeno en instalaciones centralizadas de bajo coste y después se inyecta en gasoductos de gas natural para transporte posterior a estaciones de reabastecimiento distribuido a lo largo de la red de gasoductos. Se separa H₂ de alta pureza de la mezcla H₂/gas natural en cada estación de reabastecimiento. Problemas prácticos limitan el contenido de H₂ de este gas a menos de aproximadamente veinte por ciento, consistiendo los componentes restantes en especies de gas natural típicas (por ejemplo, metano, N₂, hidrocarburos C2+).

60 65 La recuperación de hidrógeno de gas combustible de refinería es otro área de interés. En la actualidad, muchas refinerías tienen necesidad de hidrógeno para diversas operaciones unitarias incluyendo hidrocracking, hidrodesulfuración y reformado. La recuperación de hidrógeno de diversas corrientes de alimentación de baja concentración en hidrógeno podía ser una opción atractiva para construir una nueva planta de producción de hidrógeno si existiese tecnología apropiada. El gas combustible de refinería es un grupo de gases ligeros generados en cualquier serie de unidades de tratamiento en la refinería. Una composición típica de gas combustible de refinería es aproximadamente 25% de hidrógeno, aproximadamente 67% de hidrocarburos de 1 a 6 átomos de carbono,

aproximadamente 2% de oxígeno, aproximadamente 5% de nitrógeno, aproximadamente 1% de dióxido de carbono y niveles de ppm de sulfuro de hidrógeno. Sería deseable un procedimiento eficaz para recuperar una corriente de hidrógeno de alta pureza de dicho gas de alimentación con bajo contenido en hidrógeno.

5 La técnica anterior explica que la adsorción por cambios de presión no es adecuada para recuperar hidrógeno de mezclas de gases de alimentación que contengan bajas concentraciones de hidrógeno. Por ejemplo, Lancelin et al., "Hydrogen Purification by Pressure Swing Adsorption," presentado en el Simposio sobre el Hidrógeno de AFTP, 26 de febrero de 1.976) muestran una representación gráfica de recuperación de hidrógeno como una función de la concentración de hidrógeno en la mezcla de gases de alimentación usando adsorción por cambios de presión. La representación gráfica muestra una recuperación de hidrógeno de aproximadamente 80% para 70% de hidrógeno en la mezcla de gases de alimentación, disminuyendo a aproximadamente 60% de recuperación de hidrógeno para 50% de hidrógeno en la mezcla de gases de alimentación.

10 15 Similarmente, la patente de EE.UU. A-5.538.706 describe un procedimiento que incluye una unidad de adsorción por cambios de presión (PSA) de hidrógeno para producir una corriente de H₂ de alta pureza (98% o mayor) a partir de gas de alimentación de H₂ diluido (con una concentración de H₂ de 30-50%), pero en que la recuperación de hidrógeno en la corriente de H₂ de alta pureza es muy baja. En la realización descrita en el Ejemplo 3, por ejemplo, la alimentación de PSA contiene 1.171,5*0,4425 = 518 kmol/h de H₂ y se producen 41,4 kmol/h de producto de H₂ de alta pureza, siendo la recuperación de H₂, por lo tanto, 8%. La unidad de PSA utiliza una etapa de alimentación de alta presión, una primera etapa de despresurización que produce una corriente enriquecida en H₂ y producto de CO y una etapa de extracción en contracorriente que rechaza CO₂, agua e hidrocarburos superiores. La corriente enriquecida en H₂ y producto de CO puede tratarse con posterioridad en una unidad criogénica o segunda unidad de PSA para recuperación adicional del H₂ contenido en la misma.

20 25 BREVE SUMARIO

Como se describe en la presente memoria, los autores han descubierto un procedimiento de alta recuperación para recuperar hidrógeno de mezclas de gases de alimentación que contienen bajas concentraciones de hidrógeno usando adsorción con cambios de presión.

30 35 Se describe un procedimiento para separar de manera selectiva hidrógeno de al menos un componente más fuertemente adsorbible en una pluralidad de lechos de adsorción (es decir, al menos cuatro), contenido cada uno un adsorbente selectivo para al menos un componente más fuertemente adsorbible para producir un gas producto rico en hidrógeno. Cada uno de la pluralidad de lechos de adsorción se somete a un ciclo repetitivo. El procedimiento comprende:

40 (a) introducir una mezcla de gases de alimentación que comprende 5% a 50% de hidrógeno o 5% a 40% de hidrógeno o 5% a 30% de hidrógeno a una presión elevada en un primer lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción y adsorber al menos un componente más fuertemente adsorbible sobre el adsorbente en el primer lecho de adsorción al tiempo que se retira el gas producto rico en hidrógeno del primer lecho de adsorción, dejando después un primer gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción sustancialmente a la presión elevada;

45 (b) retirar en corrientes del mismo sentido una primera porción del primer gas de espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la primera porción del primer gas de espacio vacío a un segundo lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción para igualación de presión;

50 (c) retirar en corrientes del mismo sentido una segunda porción del primer gas de espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la segunda porción del primer gas de espacio vacío a un tercer lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción para purgar el tercer lecho de adsorción con la segunda porción del primer gas de espacio vacío dando como resultado una primera disminución de la presión en el primer lecho de adsorción desde una primera presión P₁ a una segunda presión P₂;

55 (d) retirar en corrientes del mismo sentido una tercera porción del primer gas de espacio vacío desde el primer lecho de adsorción y hacer pasar la tercera porción del primer gas de espacio vacío a uno de, el tercer lecho de adsorción y un cuarto lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción para igualamiento de la presión;

(e) retirar en contracorriente una cuarta porción del primer gas de espacio vacío del primer lecho de adsorción dando como resultado una segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción desde la

$$\frac{(P_2 - P_4)}{(P_1 - P_2)} \geq 2,0$$

segunda presión P₂ o una tercera presión P₃ a una presión P₄ de extracción; en la que

60 o ≥3,0 cuando la segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la segunda

$$\frac{(P_3 - P_4)}{(P_1 - P_2)} \geq 2,0$$

presión P₂ a la presión P₄ de extracción y o ≥3,0 cuando la segunda disminución de la

- presión en el primer lecho de adsorción es desde la tercera presión P_3 a la presión P_4 de extracción;
- (f) introducir a contracorriente una primera porción de un segundo gas de espacio vacío en el primer lecho de adsorción para purgar el primer lecho de adsorción, el segundo gas de espacio vacío de uno de un quinto lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción y el cuarto lecho de adsorción;
- 5 (g) introducir a contracorriente una segunda porción del segundo gas de espacio vacío o una porción de un tercer gas de espacio vacío en el primer lecho de adsorción desde uno de, un sexto lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción y el quinto lecho de adsorción para igualación de la presión;
- 10 (h) introducir a contracorriente una porción de un cuarto gas de espacio vacío en el primer lecho de adsorción, el cuarto gas de espacio vacío desde uno de, un séptimo lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción para igualación de la presión y
- 15 (i) al menos uno de, introducir en corrientes del mismo sentido la mezcla de gases de alimentación e introducir a contracorriente el gas producto rico en hidrógeno desde al menos uno de, un recipiente de almacenamiento de gas producto rico en hidrógeno, un octavo lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción en el primer lecho de adsorción hasta que el primer lecho de adsorción está sustancialmente a la presión elevada.
- 20 La etapa (c) puede ser antes de la etapa (d) o la etapa (d) puede ser antes de la etapa (c). Así las etapas se realizan en cualquier orden (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i) o el orden (a), (b), (d), (c), (e), (f), (g), (h), (i).
- 25 La presión P_4 de extracción puede ser 108 kPa a 170 kPa.
- 30 El segundo gas de espacio vacío puede ser de uno de, el cuarto lecho de adsorción y el quinto lecho de adsorción. El tercer gas de espacio vacío puede ser de uno de, el segundo lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción. El cuarto gas de espacio vacío puede ser de uno de, el segundo lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción. El gas producto rico en hidrógeno introducido en el primer lecho de adsorción puede ser de al menos uno de, el tercer lecho de adsorción y el cuarto lecho de adsorción.
- 35 El procedimiento puede comprender además introducir a contracorriente el gas producto rico en hidrógeno de al menos uno de, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción, el sexto lecho de adsorción y el octavo lecho de adsorción en el primer lecho de adsorción simultáneamente con la introducción a contracorriente de la segunda porción del segundo gas de espacio vacío o la porción del tercer gas de espacio vacío en el primer lecho de adsorción para igualación de la presión con ayuda de gas producto rico en hidrógeno. El gas producto rico en hidrógeno para igualación de la presión con ayuda de gas producto rico en hidrógeno puede ser de al menos uno de, el tercer lecho de adsorción y el cuarto lecho de adsorción.
- 40 El procedimiento puede comprender además:
- 45 j) retirar en corrientes en el mismo sentido una quinta porción del primer gas de espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la quinta porción del primer gas del espacio vacío a uno de, el tercer lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción para igualación de la presión e
- 50 (k) introducir a contracorriente una porción de un quinto gas de espacio vacío en el primer lecho de adsorción, el quinto gas de espacio vacío de uno de, un noveno lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción, el sexto lecho de adsorción, el séptimo lecho de adsorción y el octavo lecho de adsorción para igualación de la presión;
- 55 en el que la etapa (j) tiene lugar antes o después de la etapa (c) pero después de la etapa (d) y antes de la etapa (e) y en el que la etapa (k) tiene lugar después de la etapa (f) y antes de la etapa (g).
- El quinto gas de espacio vacío puede ser uno de, el segundo lecho de adsorción y el tercer lecho de adsorción.
- En el caso de que el procedimiento comprenda retirar una quinta porción del primer gas de espacio vacío del primer lecho de adsorción para igualamiento de la presión, $\frac{(P_2 - P_4)}{(P_1 - P_2)}$ puede ser $\geq 4,0$ cuando la segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la segunda presión P_2 a la presión P_4 de extracción y $\frac{(P_3 - P_4)}{(P_1 - P_2)}$ puede ser $\geq 4,0$ cuando la segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la tercera

presión P_3 a la presión P_4 de extracción.

BREVE DESCRIPCIÓN DE DIVERSAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

- 5 La FIG. 1 es un esquema de un sistema de adsorción con cuatro lechos de adsorción.
 La FIG. 2 es una representación gráfica de porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción y la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para un sistema con cuatro lechos de adsorción y dos etapas de igualación.
 10 La FIG. 3 es una representación gráfica de porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción y la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para un sistema con cinco lechos de adsorción y dos etapas de igualación.
 La FIG. 4 es una representación gráfica de porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción y la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para un sistema con cinco lechos de adsorción y tres etapas de igualación.
 15 La FIG. 5 es una representación gráfica de porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción y la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para un sistema con seis lechos de adsorción y dos etapas de igualación.
 La FIG. 6 es una representación gráfica de porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción y la disminución de la presión durante 20 la etapa de purga proporcionada para un sistema con seis lechos de adsorción y tres etapas de igualación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 25 Los artículos indefinidos "un" y "uno" como se usa en la presente memoria significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en realizaciones de la presente invención descrita en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones. El uso de "un" y "uno" no limita el significado a una sola característica a menos que se indique específicamente tal límite. El artículo definido "el, la" precediendo nombres o expresiones singulares o plurales indica una característica especificada particular o características especificadas particulares y puede presentar una connotación singular o plural dependiendo del contexto en que se use. El adjetivo "cualquier" significa una, alguna o 30 indiscriminadamente todo de cualquier cantidad.

"Recuperación de hidrógeno" se define como caudal másico de hidrógeno que sale del sistema de adsorción dividido por el caudal másico de hidrógeno que entra en el sistema de adsorción. Por ejemplo, si una corriente de alimentación con un caudal másico de 100 kg/s con una fracción en masa de 0,5 de hidrógeno entra en el sistema de adsorción y una corriente de producto con un caudal másico de 50 kg/s con una fracción en masa de 0,95 de hidrógeno sale del sistema de adsorción, la recuperación de hidrógeno es 95%.

Como se usa en la presente memoria, "pluralidad" significa al menos cuatro.

40 Como se usa en la presente memoria, los porcentajes de concentración son porcentajes en moles.

El procedimiento descrito en la presente memoria se refiere a un procedimiento para separar selectivamente hidrógeno de al menos un componente más fuertemente adsorbible en una pluralidad de lechos de adsorción 45 contenido cada uno un adsorbente selectivo para al menos el componente más fuertemente adsorbible para producir un gas producto rico en hidrógeno. Cada uno de la pluralidad de lechos de adsorción está sometido a un ciclo repetitivo de etapas.

50 Se conocen en la técnica adsorbentes adecuados para separar hidrógeno de otros gases. El lecho adsorbente puede contener múltiples capas de diversos adsorbentes. Por ejemplo, muchos sistemas PSA de hidrógeno incluyen una capa de carbón activado en el extremo de alimentación del lecho para eliminación volumétrica de dióxido de carbono y metano seguido por una capa de zeolita para eliminación de nitrógeno y monóxido de carbono. En algunos sistemas, se pone una capa de alúmina activada aguas arriba de la capa de carbón activado para eliminación del agua dando como resultado un lecho de tres capas. Más recientemente, se ha sugerido un lecho de cuatro capas para purificación de hidrógeno (Publicación de Patente de EE.UU. 2006/0254425). También son la alúmina activada y el gel de sílice adsorbentes típicos usados para eliminación de hidrocarburos C3+ de corrientes que contienen hidrógeno. Finalmente, la Patente de EE.UU. N° 3.176.444 proporciona una lista de adsorbentes viables que se pueden usar para purificación de corrientes que contienen hidrógeno.

60 Los componentes más fuertemente adsorbibles pueden incluir: agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, nitrógeno, oxígeno, argón, hidrocarburos C2-C10, gases que contienen azufre (por ejemplo, H₂S, COS, CS₂) y gases que contienen nitrógeno (por ejemplo, NO, NH₃). Las corrientes de gases se podían producir por reformado con vapor de hidrocarburos, oxidación parcial de hidrocarburos, reformado autotérmico de hidrocarburos y/o gasificación de sólidos (por ejemplo, carbón, coque, biomasa). La fuente de la corriente que contiene hidrógeno también puede ser gases liberados de diversos procesos de refinería (por ejemplo, reformador, craqueador catalítico) o químicos (por ejemplo, producción de amoníaco).

Como son conocidos los procedimientos de adsorción con cambios de presión, un experto en la materia puede construir un sistema de adsorción adecuado para realizar el procedimiento descrito en la presente memoria. El equipo adecuado para realizar el procedimiento es conocido en la técnica. Las condiciones de operación no descritas específicamente en la presente memoria, adecuadas para uso en el procedimiento descrito en la presente memoria, se pueden determinar por un experto en la materia sin excesiva experimentación.

5 El procedimiento se puede realizar en lechos adsorbentes axiales o lechos adsorbentes radiales.

10 El procedimiento se puede realizar en un sistema que comprende al menos un recipiente de igualación. Como se sabe en la técnica, se puede usar un recipiente de igualación para almacenar gas de espacio vacío para igualación con otro recipiente. Esto permite un lecho de adsorción para proporcionar gas de espacio vacío para otro que esté fuera de secuencia para igualación directa. Esto a veces se denomina un lecho para igualación en tanques. Un procedimiento que incluye lecho para igualación en tanque se describe en la Patente de EE.UU. Nº 6.503.299 para Baksh et al.

15 El procedimiento puede usar adsorción por cambios de presión a diferencia de adsorción por cambios de vacío para recuperar hidrógeno de alta pureza en el intervalo de al menos 95% de hidrógeno y a una alta recuperación de hidrógeno en el intervalo de al menos 80%. La adsorción por cambios de presión puede proporcionar ventajas sobre la adsorción por cambios de vacío. Por ejemplo, no se requiere bomba de vacío y los gases de desecho del procedimiento pueden estar a suficiente presión para uso como combustible o para algún otro propósito.

20 El ciclo del procedimiento se describirá para un primer lecho de adsorción con relación a los otros lechos de adsorción. Como se conoce en la técnica, cada uno de los lechos de adsorción, a su vez, realiza las etapas descritas. El procedimiento requiere al menos cuatro lechos de adsorción. Las referencias a quinto, sexto, séptimo y más lechos de adsorción sólo son aplicables para sistemas que tienen al menos ese número de lechos de adsorción.

25 Cada uno de los lechos de adsorción presenta un "extremo de entrada" y un "extremo de vertido", así denominados debido a su función durante la etapa de adsorción del ciclo de adsorción. Se introduce una mezcla de gases de alimentación en el "extremo de entrada" del lecho de adsorción y se retira producto rico en hidrógeno del "extremo de vertido" durante la etapa de adsorción del ciclo. Durante otras etapas del ciclo de adsorción, se puede introducir o retirar gas del "extremo de entrada". Asimismo, durante otras etapas del ciclo de adsorción, se puede introducir o retirar gas del "extremo de vertido".

30 El procedimiento comprende introducir una mezcla de gases de alimentación que comprende 5% a 50% de hidrógeno o 5% a 40% de hidrógeno o 5% a 30% de hidrógeno, a una presión elevada en un primer lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción y adsorber al menos un componente más fuertemente adsorbible sobre el adsorbente en el primer lecho de adsorción al tiempo que se retira el producto rico en hidrógeno del primer lecho de adsorción. La mezcla de gases de alimentación se introduce en un extremo de entrada y se retira el producto rico en hidrógeno de un extremo de vertido. Introducir la mezcla de gases de alimentación en un lecho de adsorción, adsorber componentes más fuertemente adsorbibles sobre el adsorbente al tiempo que se retira producto rico en hidrógeno del lecho de adsorción se refiere como la "etapa de adsorción" y se representa por una "A" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. La etapa de adsorción continúa durante un periodo de tiempo de adsorción dejando después un primer gas de espacio vacío en el primer lecho de adsorción sustancialmente a la presión elevada. El periodo de tiempo de adsorción puede ser de 3 segundos a 300 segundos.

35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10

- corrientes en el mismo sentido" y el flujo de gas que es en contracorriente al flujo de gas durante la etapa de adsorción es "contracorriente". Introducir un gas en corrientes del mismo sentido en un lecho de adsorción significa introducir el gas en la misma dirección que el gas durante la etapa de adsorción. Introducir un gas a contracorriente en un lecho de adsorción significa introducir el gas en una dirección contracorriente a la dirección del flujo de gas durante la etapa de adsorción. Retirar un gas en corriente del mismo sentido desde un lecho de adsorción significa la retirada del gas en la misma dirección que el gas durante la etapa de adsorción. Retirar un gas contracorriente de un lecho de adsorción significa la retirada del gas en una dirección contracorriente a la dirección del flujo de gas durante la etapa de adsorción.

5 El gas se puede introducir en corriente del mismo sentido simultáneamente en el extremo de entrada e introducir a contracorriente en el extremo de vertido. El gas se puede retirar en corriente del mismo sentido simultáneamente del extremo de vertido y retirar a contracorriente del extremo de entrada.

10 Cuando se retira gas de una posición intermedia al extremo de entrada y el extremo de vertido, se retira una porción del gas en corriente del mismo sentido y se retira una porción a contracorriente. Cuando se introduce gas en una posición intermedia al extremo de entrada y el extremo de vertido, se introduce una porción del gas en corriente del mismo sentido y se introduce una porción a contracorriente.

15 El procedimiento comprende retirar en corrientes del mismo sentido una primera porción del primer gas de espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la primera porción del primer gas del espacio vacío a un segundo lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción hasta que el primer lecho de adsorción presenta igualación de la presión con el segundo lecho de adsorción. La primera porción del primer gas del espacio vacío se puede retirar del extremo de vertido del primer lecho de adsorción. Esta primera porción del gas del espacio vacío presentará en general una concentración de hidrógeno mayor que 95% o mayor que 99% y es por lo tanto útil para aumentar la presión del segundo lecho de adsorción. La etapa de retirar en corrientes del mismo sentido una primera porción de gas del espacio vacío de un lecho de adsorción y hacer pasar la primera porción a otro lecho de adsorción hasta que los lechos presentan igualadas sus presiones se representa por un "1" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9.

20 Una etapa de retirar en corrientes en el mismo sentido una porción de gas del espacio vacío de un lecho de adsorción y hacerla pasar a otro lecho de adsorción hasta que los lechos presentan igualadas sus presiones se refiere en la presente memoria como una "igualación de la presión por etapa de retirada de gas del espacio vacío". La etapa "1" se puede referir entonces como una primera igualación de la presión por una etapa de retirada del gas del espacio vacío. La igualación de la presión por una etapa de retirada del gas del espacio vacío puede tener lugar durante un periodo de tiempo de 1 segundo a 120 segundos.

25 Como se define en la presente memoria, presión igualada significa que la diferencia de presión entre los lechos de adsorción es menor que 35 kPa (5 psi). La igualación de la presión es una etapa en que se transfiere gas de un lecho de adsorción a otro hasta que los lechos de adsorción presentan igualadas sus presiones, con una diferencia de presión menor que 35 kPa (5 psi) al final de la etapa.

30 El procedimiento comprende retirar en corriente en el mismo sentido una segunda porción del primer gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la segunda porción del gas del primer espacio vacío a un tercer lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción para purgar el tercer lecho de adsorción con la segunda porción del primer gas del espacio vacío. La segunda porción del primer gas del espacio vacío se puede retirar del extremo de vertido del primer lecho de adsorción. Esta segunda porción del gas del espacio vacío presentará en general una concentración de hidrógeno mayor que 95% o mayor que 99% y es por lo tanto útil para purgar el tercer lecho de adsorción. La segunda porción del primer gas del espacio vacío se retira del primer lecho de adsorción dando como resultado una primera disminución de la presión ΔP_1 en el primer lecho de adsorción de una primera presión P_1 a una segunda presión P_2 . La etapa de retirar en corriente en el mismo sentido la segunda porción del primer gas del espacio vacío de un lecho de adsorción y hacer pasar la segunda porción del primer gas del espacio vacío a otro lecho de adsorción para purgar el otro lecho de adsorción se denomina comúnmente una "etapa de purga proporcionada" y se representa por un "PP" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. La etapa de purga proporcionada tiene lugar durante un periodo de purga proporcionada que puede ser 1 segundo a 300 segundos.

35 El procedimiento comprende retirar en corriente en el mismo sentido una tercera porción del primer gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la tercera porción del primer gas del espacio vacío a uno de, el tercer lecho de adsorción y un cuarto lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción hasta que el primer lecho de adsorción presenta igualación de la presión con ese lecho de adsorción a que pasó la tercera porción. La tercera porción del primer gas del espacio vacío se puede retirar del extremo de vertido del primer lecho de adsorción. La tercera porción del primer gas del espacio vacío presentará en general una concentración de hidrógeno mayor que 95% o mayor que 99% y es por lo tanto útil para aumentar la presión del tercer lecho de adsorción o el cuarto lecho de adsorción. La etapa de retirar en corriente en el mismo sentido la tercera porción de un gas del espacio vacío de un lecho de adsorción y hacer pasar la tercera porción a otro lecho de adsorción hasta que los lechos presentan igualadas sus presiones se representa por un "2" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. La etapa "2" se puede referir como una segunda igualación de la presión por etapa de retirada de gas del espacio vacío. La

40

45

50

55

60

65

segunda igualación de la presión por etapa de retirada de gas del espacio vacío puede tener lugar durante un periodo de tiempo de 1 segundo a 120 segundos.

- 5 Según el procedimiento descrito en la presente memoria e ilustrado en los Ejemplos que siguen, la segunda porción se puede retirar antes de que se retire la tercera porción o se puede retirar la tercera porción antes de que se retire la segunda porción. La segunda igualación de la presión por etapa "2" de retirada de gas de espacio vacío puede ser antes o después de la etapa de purga proporcionada "PP" como se desee y puede depender del número total de lechos de adsorción utilizados.
- 10 El procedimiento comprende retirar una cuarta porción del gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción, dando como resultado una segunda disminución de la presión ΔP_2 en el primer lecho de adsorción de la segunda presión P_2 o una tercera presión P_3 a una presión P_4 de extracción. La cuarta porción del gas del espacio vacío se retira en general a contracorriente y puede presentar inicialmente una concentración de hidrógeno aproximadamente la misma que la composición de la alimentación (20 a 25% de hidrógeno) y después la concentración de hidrógeno 15 puede disminuir con el tiempo, teniendo una concentración promedio de hidrógeno menor que 10%. La cuarta porción del gas del espacio vacío se puede retirar del extremo de entrada del primer lecho de adsorción. La presión de extracción puede ser y en general es la presión más baja del ciclo y puede ser 108 kPa (1 psig) a 170 kPa (10 psig). La etapa de retirada de la cuarta porción del gas del espacio vacío de un lecho de adsorción a una presión de extracción se denomina comúnmente una "etapa de extracción" y se representa por una "B" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 20 9. La etapa de extracción tiene lugar durante un periodo de tiempo de extracción que puede ser de 1 segundo a 300 segundos.

- 25 En el caso de que la etapa de extracción vaya inmediatamente después de la etapa de purga proporcionada, la disminución de la presión durante la etapa de extracción es de P_2 a P_4 . En el caso de que haya una etapa entre la etapa de purga proporcionada y la etapa de extracción, la disminución de la presión puede ser de P_3 a P_4 , donde P_3 es diferente de P_2 .

$$\frac{(P_2 - P_4)}{(P_1 - P_2)} \geq 2,0$$

En el procedimiento, $\geq 2,0$ o $\geq 3,0$ cuando la segunda disminución de la presión en el primer

$$\frac{(P_3 - P_4)}{(P_1 - P_2)} \geq 2,0$$

- 30 lecho de adsorción es desde la segunda presión P_2 a la presión P_4 de extracción y $\geq 3,0$ cuando la segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la tercera presión P_3 a la presión P_4 de extracción. Esto significa que la disminución de la presión en la etapa de extracción es al menos dos veces mayor o al menos tres veces mayor que la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada.

- 35 El procedimiento comprende introducir a contracorriente una porción de un segundo gas de espacio vacío en el primer lecho de adsorción para purgar el primer lecho de adsorción. La porción del segundo gas del espacio vacío se puede introducir en el extremo de vertido del primer lecho de adsorción. El segundo gas del espacio vacío se puede proporcionar por cualquiera de los otros lechos de adsorción en relación de ciclos adecuada para el primer lecho de adsorción. El segundo gas del espacio vacío puede ser del segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción o un quinto lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción. La etapa de introducir gas del espacio vacío para purgar un lecho de adsorción se denomina comúnmente una "etapa 40 de purga" y se representa por "P" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. El lecho de adsorción que proporciona segundo gas del espacio vacío está en una etapa de purga proporcionada, descrita anteriormente. Un lecho de adsorción experimenta la etapa de purga durante el mismo periodo de tiempo que el lecho de adsorción es decir siempre que el gas de purga experimenta la etapa de purga proporcionada.

- 45 El procedimiento comprende introducir a contracorriente otra porción del segundo gas del espacio vacío o una porción de un tercer gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción. El segundo o tercer gas del espacio vacío se puede introducir en el extremo de vertido del primer lecho de adsorción. El segundo gas del espacio vacío es proporcionado por el mismo lecho de adsorción que proporcionó gas del espacio vacío en la etapa de purga. El tercero 50 gas del espacio vacío se puede proporcionar por cualquiera de los otros lechos de adsorción en relación de ciclos adecuada para el primer lecho de adsorción. El tercero gas del espacio vacío puede ser del segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción o un sexto lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción. Se introduce gas del espacio vacío hasta que el primer lecho de adsorción presenta igualación de la presión con el lecho de adsorción que proporcionó el segundo gas del espacio vacío o el tercero gas del espacio vacío.

- 60 Una etapa de introducción a contracorriente de una porción de gas del espacio vacío a un lecho de adsorción desde otro lecho de adsorción hasta que los lechos presentan igualadas sus presiones se refiere en la presente memoria como una "igualación de la presión por etapa de introducción de gas del espacio vacío". Esta etapa tiene lugar junto con otro lecho que experimenta una segunda igualación de la presión por una etapa "2" de retirada de gas del espacio vacío. Esta etapa se refiere por lo tanto como una segunda igualación de la presión por etapa de

introducción de gas del espacio vacío y se representa por un "2" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. Un lecho de adsorción experimenta la segunda igualación de la presión por etapa de introducción de gas del espacio vacío durante el mismo periodo de tiempo que el lecho de adsorción que está proporcionando el gas del espacio vacío experimenta la segunda igualación de la presión por una etapa de retirada de gas del espacio vacío.

- 5 El procedimiento comprende introducir a contracorriente una porción de un cuarto gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción. El cuarto gas del espacio vacío se puede introducir en el extremo de vertido del primer lecho de adsorción. El cuarto gas del espacio vacío se puede proporcionar por cualquiera de los otros lechos de adsorción (es decir, un lecho de adsorción distinto de los que proporcionan los segundo y tercer gases del espacio vacío) y puede presentar una concentración de hidrógeno mayor que 99%. El cuarto gas del espacio vacío puede ser del segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción o un séptimo lecho de adsorción de la pluralidad de lechos de adsorción.
- 10 Se introduce gas del espacio vacío hasta que el primer lecho de adsorción presenta igualación de la presión con el lecho de adsorción que proporcionó el cuarto gas del espacio vacío. Esto es también una igualación de la presión por etapa de introducción de gas de espacio vacío. Esta etapa tiene lugar junto con otro lecho que experimenta una primera igualación de la presión por una etapa "1" de retirada de gas de espacio vacío. Esta etapa se refiere por lo tanto como una primera igualación de la presión por una etapa de introducción de gas de espacio vacío y se representa por un "1" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. Un lecho de adsorción experimenta la primera igualación de presión por una etapa de introducción de gas del espacio vacío durante el mismo periodo de tiempo que el lecho de adsorción que está proporcionando el gas del espacio vacío experimenta la primera igualación de presión por una etapa de retirada de gas del espacio vacío.
- 15 Se introduce gas producto rico en hidrógeno junto con el cuarto gas del espacio vacío. El producto rico en hidrógeno se puede proporcionar por cualquiera de los otros recipientes de adsorción que experimentan la etapa de adsorción. Esta etapa es una versión específica de la igualación de la presión por una etapa de introducción de gas del espacio vacío denominada una igualación de la presión por una etapa de introducción de gas de espacio vacío con ayuda de gas producto rico en hidrógeno.
- 20 25 30 35 40 Después se represuriza el primer lecho de adsorción a sustancialmente la presión elevada. La mezcla de gases de alimentación y/o el gas producto rico en hidrógeno se puede usar para represurizar el lecho de adsorción. El procedimiento comprende al menos uno de, introducir en corriente del mismo sentido la mezcla de gases de alimentación e introducir a contracorriente el gas producto rico en hidrógeno hasta que el primer lecho de adsorción está sustancialmente a la presión elevada. El gas producto rico en hidrógeno puede venir de al menos uno de, un recipiente de almacenamiento de gas producto rico en hidrógeno y cualquiera de los otros lechos de adsorción, por ejemplo, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción. Una etapa de introducción de la mezcla de gases de alimentación y/o gas producto rico en hidrógeno se denomina comúnmente una "etapa de represurización" y se representa por una "R" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. El periodo de tiempo para la etapa de represurización puede ser 1 segundo a 300 segundos.
- 45 Dependiendo de la secuenciación de los lechos de adsorción, el procedimiento también puede incluir una o más etapas de inactividad. En una etapa de inactividad, ni se introduce ni se retira gas del lecho de adsorción. Una etapa de inactividad se representa por una "I" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. Una etapa de inactividad puede presentar un periodo de tiempo de 1 segundo a 120 segundos.
- 50 Opcionalmente, el procedimiento puede incluir una tercera igualación de presión por una etapa de retirada de gas de vacío y una tercera igualación de la presión por una etapa de introducción de gas de vacío. La tercera igualación de la presión por una etapa de retirada de gas de vacío se representa por "3" en las Tablas 5 y 9. La tercera igualación de la presión por una etapa de introducción de gas de vacío se representa por "3" en las Tablas 5 y 9.
- 55 60 65 La tercera igualación de la presión opcional por etapa de retirada de gas de vacío comprende retirar en corriente del mismo sentido una quinta porción del gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la quinta porción del gas del primer espacio vacío a otro lecho de adsorción para igualación de la presión con el mismo. La quinta porción del primer gas del espacio vacío se puede retirar del extremo de vertido del primer lecho de adsorción. La quinta porción del primer gas del espacio vacío se puede hacer pasar a uno de, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción, el sexto lecho de adsorción, el séptimo lecho de adsorción o un octavo lecho de adsorción. La tercera igualación de la presión opcional por etapa de retirada de gas de espacio vacío puede tener lugar durante un periodo de tiempo de 1 segundo a 120 segundos.
- La tercera igualación de la presión opcional por etapa de introducción de gas de vacío comprende introducir a contracorriente una porción de un quinto gas de vacío en el primer lecho de adsorción. Se puede introducir el quinto gas del espacio vacío en el extremo de vertido del primer lecho de adsorción. Se puede proporcionar el quinto gas de vacío por cualquiera de los otros lechos de adsorción (es decir, un lecho de adsorción distinto de los que proporcionan los segundo, tercer y cuarto gases de vacío) y puede presentar una concentración de hidrógeno mayor que 99%. El quinto gas de vacío puede ser del segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto

lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción, el sexto lecho de adsorción, el séptimo lecho de adsorción o el octavo lecho de adsorción. Se introduce gas del espacio vacío hasta que el primer lecho de adsorción presenta igualación de la presión con el lecho de adsorción que proporcionó el quinto gas del espacio vacío. Un lecho de adsorción experimenta la tercera igualación de la presión opcional por etapa de introducción de gas de espacio vacío durante el mismo periodo de tiempo que el lecho de adsorción que está proporcionando el gas del espacio vacío experimenta la tercera igualación de la presión opcional por etapa de retirada de gas de espacio vacío.

En el caso de la tercera igualación de la presión opcional por etapa de retirada de gas de vacío y la tercera

$$\frac{(P_2 - P_4)}{(P_1 - P_2)}$$

igualación de la presión opcional por etapa de introducción de gas de vacío, $\frac{(P_3 - P_4)}{(P_1 - P_2)}$ puede ser $\geq 4,0$ cuando la

segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la segunda presión P_2 a la presión P_4
 $\frac{(P_3 - P_4)}{(P_1 - P_2)}$ de extracción y $\frac{(P_1 - P_2)}{(P_3 - P_4)}$ puede ser $\geq 4,0$ cuando la segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la tercera presión P_3 a la presión P_4 de extracción.

Según el procedimiento descrito en la presente memoria e ilustrado en los Ejemplos que siguen, la segunda porción del primer gas del espacio de vacío se puede retirar antes de que se retire la quinta porción del primer gas del espacio vacío o se puede retirar la quinta porción antes de que se retire la segunda porción. La tercera igualación de la presión por etapa "3" de retirada de gas de espacio de vacío puede ser antes o después de la etapa "PP" de purga como se desee y puede depender del número total de lechos de adsorción utilizados.

Los resultados de la simulación computacional se proporcionan en los ejemplos que siguen para ilustrar el procedimiento y no se desea limitar el alcance de las reivindicaciones que siguen. En todos los ejemplos, el adsorbente en los lechos de adsorción fue carbón activado y la altura del lecho fue 1,524 m (5 ft.). La mezcla de gases de alimentación se proporcionó a aproximadamente 1,5 MPa (200 psig) y 37,8°C (100°F). Se controló la pureza del producto de hidrógeno para proporcionar aproximadamente 50 ppm de nitrógeno, que proporcionó en general menos de 1 ppm de metano. Para algunas de las simulaciones de proporción de purga más alta con 20% de hidrógeno en la alimentación, las concentraciones de metano se limitaron a menos de 20 ppm de metano. El periodo de tiempo para la etapa de adsorción fue 60 segundos. En la etapa de represurización, se usa gas producto rico en hidrógeno para represurar los lechos de adsorción sin ninguna represurización del gas de alimentación.

EJEMPLO 1

La Tabla 1 muestra un diagrama de ciclos para un sistema de cuatro lechos de adsorción que se puede usar de acuerdo con el procedimiento descrito en la presente memoria. En este ejemplo de cuatro lechos, los lechos de adsorción experimentan una etapa (A) de adsorción, una primera igualación de la presión por una etapa (1) de retirada del gas de vacío, una etapa (PP) de purga proporcionada, una segunda igualación de la presión por una etapa (2) de retirada del gas de vacío, una etapa (B) de extracción, una etapa (P) de purga, una segunda igualación de la presión por una etapa (2') de introducción del gas de vacío, una primera igualación de la presión por una etapa de introducción del gas de vacío con ayuda (1') de gas producto rico en hidrógeno y una etapa (R) de represurización. Según el ciclo del ejemplo en la Tabla 1, la etapa de purga proporcionada es antes que la segunda igualación de la presión por etapa de retirada de gas de vacío.

TABLA 1

A	A	A	1	PP	2	B	P	2'	1'	R	R
B	P	2'	1'	R	R	A	A	A	1	PP	2
1	PP	2	B	P	2'	1'	R	R	A	A	A
1'	R	R	A	A	A	1	PP	2	B	P	2'

La FIG. 1 es un esquema de un ejemplo de sistema de cuatro lechos de adsorción que se puede usar según el procedimiento descrito en la presente memoria y es una base para simulaciones en este ejemplo. Según el diagrama de ciclos en la Tabla 1, cuando el lecho 1 de adsorción estaba experimentando la etapa A, el lecho 2 de adsorción estaba experimentando la etapa B, el lecho 3 de adsorción estaba experimentando la etapa 1 y el lecho 4 de adsorción estaba experimentando una etapa 1'. Se introdujo la mezcla 101 de gases de alimentación por la válvula 13 abierta en el extremo 11 de entrada del lecho 1 de adsorción. Los componentes más fuertemente adsorbibles son retenidos en el lecho de adsorción y se vertió gas producto rico en hidrógeno del extremo 12 de vertido del lecho 1 de adsorción y por la válvula 15 abierta para formar gas 102 producto. Las válvulas 14 y 16 se cerraron durante la etapa de adsorción del lecho 1 de adsorción.

Cuando el lecho 2 de adsorción estaba experimentando la etapa B, se cerraron las válvulas 23, 25 y 26 y se retiró gas de vacío del extremo 21 de entrada del lecho 2 de adsorción por la válvula 24 abierta y sale del sistema como

gas **103** de desecho. Cuando el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa **1** y el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa **1'**, se retiró gas de vacío del lecho **3** de adsorción por el extremo **32** de vertido por la válvula **36** y se introdujo en el lecho **4** de adsorción por el extremo **42** de vertido por la válvula **46**. En las simulaciones, se usó ayuda del producto en el caso de que se introdujera simultáneamente gas producto rico en hidrógeno en el lecho **4** de adsorción por la válvula **45**. Las válvulas **33, 34, 35, 43** y **44** se cerraron.

Según la Tabla 1, el lecho **1** de adsorción continúa en la etapa A mientras el lecho **2** de adsorción desvía a la etapa P, el lecho **3** de adsorción desvía a la etapa PP y el lecho **4** de adsorción desvía a la etapa R. Cuando el lecho **2** de adsorción estaba experimentando la etapa P y el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa PP, se retiró gas de vacío desde el lecho **3** de adsorción por el extremo **32** de vertido por la válvula **36** y se introdujo en el lecho **2** de adsorción por el extremo **22** de vertido por la válvula **26**. La válvula **36** se ajustó en las simulaciones para variar la cantidad de gas del espacio vacío que se transfería durante la etapa PP. Se retiró gas del espacio vacío desde el lecho **2** de adsorción por el extremo **21** de entrada y la válvula **24** para formar gas **103** de desecho. Se cerraron las válvulas **23, 25, 33, 34** y **35**. Cuando el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa R, se usó gas producto rico en hidrógeno para represurizar el lecho **4** de adsorción. Se abrió la válvula **45**, al tiempo que se cerraron las válvulas **43, 44** y **46**.

El lecho **1** de adsorción continúa en la etapa A, mientras el lecho **2** de adsorción desvía a la etapa **2'**, el lecho **3** de adsorción desvía a la etapa **2** y el lecho **4** de adsorción continúa en la etapa R. Cuando el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa **2** y el lecho **2** de adsorción estaba experimentando la etapa **2'**, se retiró gas de vacío del lecho **3** de adsorción por el extremo **32** de vertido por la válvula **36** y se introdujo en el lecho **2** de adsorción por el extremo **22** de vertido por la válvula **26**. Se cerraron las válvulas **23, 24, 25, 33, 34** y **35**.

Según el diagrama de ciclo en la Tabla 1, mientras el lecho **1** de adsorción experimenta la etapa **1**, el lecho **2** de adsorción experimenta la etapa **1'**, el lecho **3** de adsorción experimenta la etapa **B** y el lecho **4** de adsorción experimenta la etapa **A**. Se introdujo mezcla **101** de gases de alimentación por la válvula **43** abierta en el extremo **41** de entrada del lecho **4** de adsorción. Se vertió gas producto rico en hidrógeno desde el extremo **42** de vertido del lecho **4** de adsorción y por la válvula **45** abierta para formar gas **102** producto. Se cerraron las válvulas **44** y **46** durante la etapa de adsorción del lecho **4** de adsorción.

Cuando el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa **B**, se cerraron las válvulas **33, 35** y **36** y se retiró gas de vacío desde el extremo **31** de entrada del lecho **3** de adsorción por la válvula **34** abierta y sale del sistema como gas **103** de desecho. Cuando el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa **1** y el lecho **2** de adsorción estaba experimentando la etapa **1'**, se retiró gas de vacío desde el lecho **1** de adsorción por el extremo **12** de vertido por la válvula **16** y se introdujo en el lecho **2** de adsorción por el extremo **22** de vertido por la válvula **26**. En las simulaciones, se usó ayuda del producto cuando se introdujo gas producto rico en hidrógeno en el lecho **2** de adsorción por la válvula **25**. Se cerraron las válvulas **13, 14, 15, 23** y **24**.

Según el diagrama de ciclo de la Tabla 1, el lecho **4** de adsorción continúa en la etapa A mientras el lecho **3** de adsorción desvía a la etapa P, el lecho **1** de adsorción desvía a la etapa PP y el lecho **2** de adsorción desvía a la etapa R. Cuando el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa P y el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa PP, se retiró gas de vacío desde el lecho **1** de adsorción por el extremo **12** de vertido por la válvula **16** y se introdujo en el lecho **3** de adsorción por el extremo **32** de vertido por la válvula **36**. La válvula **16** se ajustó en las simulaciones para variar la cantidad de gas de vacío que se transfería durante la etapa PP. Se retiró gas del espacio vacío desde el lecho **3** de adsorción por el extremo **31** de entrada y la válvula **34** para formar gas **103** de desecho. Se cerraron las válvulas **33, 35, 13, 14** y **15**. Cuando el lecho **2** de adsorción estaba experimentando la etapa R, se usó gas producto rico en hidrógeno para represurizar el lecho **2** de adsorción. Se abrió la válvula **25**, al tiempo que se cerraron las válvulas **23, 24** y **26**.

El lecho **4** de adsorción continúa en la etapa A, mientras el lecho **3** de adsorción desvía a la etapa **2'**, el lecho **1** de adsorción desvía a la etapa **2** y el lecho **2** de adsorción continúa en la etapa R. Cuando el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa **2** y el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa **2'**, se retiró gas de vacío desde el lecho **1** de adsorción por el extremo **12** de vertido por la válvula **16** y se introdujo en el lecho **3** de adsorción por el extremo **32** de vertido por la válvula **36**. Se cerraron las válvulas **13, 14, 15, 33, 34** y **35**.

Mientras el lecho **4** de adsorción experimenta la etapa **1**, el lecho **3** de adsorción experimenta la etapa **1'**, el lecho **1** de adsorción experimenta la etapa **B** y el lecho **2** de adsorción experimenta la etapa **A**. Se introdujo la mezcla **101** de gases de alimentación por la válvula **23** abierta en el extremo **21** de entrada del lecho **2** de adsorción. Se vació gas producto rico en hidrógeno desde el extremo **22** de vertido del lecho **2** de adsorción y por la válvula **25** abierta para formar gas **102** producto. Se cerraron las válvulas **24** y **26** durante la etapa de adsorción del lecho **2** de adsorción.

Cuando el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa **B**, se cerraron las válvulas **13, 15** y **16** y se retiró gas de vacío desde el extremo **11** de entrada del lecho **1** de adsorción por la válvula **14** abierta y sale del sistema como gas **103** de desecho. Cuando el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa **1** y el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa **1'**, se retiró gas de vacío desde el lecho **4** de adsorción por el extremo **42** de vertido por la válvula **46** y se introdujo en el lecho **3** de adsorción por el extremo **32** de vertido por la válvula **36**.

En las simulaciones, se usó producto auxiliar en el caso de que se introdujera gas producto rico en hidrógeno en el lecho **3** de adsorción por la válvula **35**. Se cerraron las válvulas **43, 44, 45, 33** y **34**.

- 5 Según el diagrama de ciclo de la Tabla 1, el lecho **2** de adsorción continúa en la etapa A mientras el lecho **1** de adsorción desvía a la etapa P, el lecho **4** de adsorción desvía a la etapa PP y el lecho **3** de adsorción desvía a la etapa R. Cuando el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa P y el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa **PP**, se retiró gas de vacío desde el lecho **4** de adsorción por el extremo **42** de vertido por la válvula **46** y se introdujo en el lecho **1** de adsorción por el extremo **12** de vertido por la válvula **16**. La válvula **46** se ajustó en las simulaciones para variar la cantidad de gas de vacío que se transfería durante la etapa PP. Se retiró gas del espacio vacío desde el lecho **1** de adsorción por el extremo **11** de entrada y la válvula **14** para formar gas **103** de desecho. Se cerraron las válvulas **13, 15, 43, 44** y **45**. Cuando el lecho **3** de adsorción estaba experimentando la etapa R, se usó gas producto rico en hidrógeno para represurizar el lecho **3** de adsorción. Se abrió la válvula **35**, al tiempo que se cerraron las válvulas **33, 34** y **36**.
- 10 15 Según el diagrama de ciclo en la Tabla 1, el lecho **2** de adsorción continúa en la etapa A, mientras el lecho **1** de adsorción desvía a la etapa **2'**, el lecho **4** de adsorción desvía a la etapa **2** y el lecho **3** de adsorción continúa en la etapa R. Cuando el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa **2** y el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa **2'**, se retiró gas de vacío desde el lecho **4** de adsorción por el extremo **42** de vertido por la válvula **46** y se introdujo en el lecho **1** de adsorción por el extremo **12** de vertido por la válvula **16**. Se cerraron las válvulas **13, 14, 15, 43, 44** y **45**.
- 20 25 Según el diagrama de ciclo en la Tabla 1, mientras el lecho **2** de adsorción experimenta la etapa **1**, el lecho **1** de adsorción experimenta la etapa **1'**, el lecho **4** de adsorción experimenta la etapa **B** y el lecho **3** de adsorción experimenta la etapa **A**. Se introdujo mezcla **101** de gases de alimentación por la válvula **33** abierta en el extremo **31** de entrada del lecho **3** de adsorción. Se vació gas producto rico en hidrógeno del extremo **32** de vertido del lecho **3** de adsorción y por la válvula **35** abierta para formar gas **102** producto. Se cerraron las válvulas **34** y **36** durante la etapa de adsorción del lecho **3** de adsorción.
- 30 35 Cuando el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa **B**, se cerraron las válvulas **43, 45** y **46** y se retiró gas de vacío del extremo **41** de entrada del lecho **4** de adsorción por la válvula **44** abierta y sale del sistema como gas **103** de desecho. Cuando el lecho **2** de adsorción estaba experimentando la etapa **1** y el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa **1'**, se retiró gas de vacío desde el lecho **2** de adsorción por el extremo **22** de vertido por la válvula **26** y se introdujo al lecho **1** de adsorción por el extremo **12** de vertido por la válvula **16**. En las simulaciones, se usó producto auxiliar en el caso de que se introdujera gas producto rico en hidrógeno en el lecho **1** de adsorción por la válvula **15**. Se cerraron las válvulas **23, 24, 25, 13** y **14**.
- 40 45 Según el diagrama de ciclo de la Tabla 1, el lecho **3** de adsorción continúa en la etapa A mientras el lecho **4** de adsorción desvía a la etapa P, el lecho **2** de adsorción desvía a la etapa PP y el lecho **1** de adsorción desvía a la etapa R. Cuando el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa P y lecho **2** de adsorción estaba experimentando la etapa PP, se retiró gas de vacío desde el lecho **2** de adsorción por el extremo **22** de vertido por la válvula **26** y se introdujo en el lecho **4** de adsorción por el extremo **42** de vertido por la válvula **46**. La válvula **26** se ajustó en las simulaciones para variar la cantidad de gas del espacio vacío que se transfería durante la etapa PP. Se retiró gas del espacio vacío desde el lecho **4** de adsorción por el extremo **41** de entrada y la válvula **44** para formar gas **103** de desecho. Se cerraron las válvulas **43, 45, 23, 24** y **25**. Cuando el lecho **1** de adsorción estaba experimentando la etapa R, se usó gas producto rico en hidrógeno para represurizar el lecho de adsorción **1**. La válvula **15** se abrió, al tiempo que se cerraron las válvulas **13, 14** y **16**.
- 50 55 Según el diagrama de ciclo en la Tabla 1, el lecho **3** de adsorción continúa en la etapa A, mientras el lecho **4** de adsorción desvía a la etapa **2'**, el lecho **2** de adsorción desvía a la etapa **2** y el lecho **1** de adsorción continúa en la etapa R. Cuando el lecho **2** de adsorción estaba experimentando la etapa **2** y el lecho **4** de adsorción estaba experimentando la etapa **2'**, se retiró gas de vacío desde el lecho **2** de adsorción por el extremo **22** de vertido por la válvula **26** y se introdujo en el lecho **4** de adsorción por el extremo **42** de vertido por la válvula **46**. Las válvulas **23, 24, 25, 43, 44** y **45** se cerraron.
- 60 65 Para fines de comparación, se presentan simulaciones para dos mezclas de gases de alimentación diferentes. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 80% de hidrógeno, 19,7% de metano y 0,3% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias esperadas para tratar mezclas de gases de alimentación con altas concentraciones de hidrógeno. Los resultados de las simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 20% de hidrógeno, 78,6% de metano y 1,4% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias descubiertas por los autores para tratar mezclas de gases de alimentación con bajas concentraciones de hidrógeno.
- En las simulaciones, el ajuste de la válvula para el lecho que proporciona gas de purga se ajustó para variar la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción y la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. Para cada simulación, se fijó la presión final de extracción a aproximadamente 140 kPa. La presión propuesta en las etapas de igualación se fijó a 10 kPa. Como parte de la disolución de la simulación,

se determinó la presión en el extremo de cada etapa de igualación.

La presión al final de cada etapa para cuatro casos con mezclas de gases de alimentación que comprendían 20% de hidrógeno se proporciona en la Tabla 2. Las unidades de presión son MPa. También se indica la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga

$$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$$

proporcionada,

TABLA 2

Caso	Etapa	A	1	PP	2	B	P	2'	1'	R	$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
		1,48	0,97	0,66	0,38	0,14	0,13	0,37	0,96	1,44	
1	1	1,48	0,97	0,66	0,38	0,14	0,13	0,37	0,96	1,44	0,79
2	2	1,48	1,01	0,85	0,46	0,14	0,13	0,45	1,00	1,44	2,05
3	3	1,48	1,02	0,91	0,49	0,14	0,14	0,48	1,01	1,44	3,19
4	4	1,48	1,04	0,98	0,52	0,14	0,14	0,51	1,03	1,44	6,65

10 La FIG. 2 presenta resultados de simulaciones para mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno presentando recuperación de hidrógeno en porcentaje como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de cuatro lechos de adsorción utilizando el diagrama de ciclo en la Tabla 1. Los resultados muestran la tendencia esperada de que la recuperación de hidrógeno disminuye a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. La FIG. 2 muestra que para tener una recuperación de hidrógeno mayor que aproximadamente 80% para una mezcla de gases de alimentación que comprende 80% de hidrógeno, la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada debería ser menor que aproximadamente 3.

20 Esto es consistente con la técnica anterior con cuatro lechos de adsorción. Por ejemplo, la Patente de EE.UU. N° 3.430.418 para Wagner describe una relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la purga proporcionada de 0,83. La Patente de EE.UU. N° 3.564.816 para Batta describe una relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la purga proporcionada de 0,82. La Patente de EE.UU. N° 4.340.398 para Doshi et al., describe una relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la purga proporcionada de 0,8. La Patente de EE.UU. N° 6.007.606 para Baksh et al., describe una relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la purga proporcionada de 1,59. La Patente de EE.UU. N° 6.340.382 para Baksh et al., describe una relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la purga proporcionada de 1,15.

30 La FIG. 2 también presenta resultados de las simulaciones para mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de adsorción de cuatro lechos utilizando el ciclo en la Tabla 1. Los resultados muestran que la recuperación de hidrógeno aumenta por encima de 80% para una relación mayor que aproximadamente 2. Por contraste a los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno, los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno muestran que la recuperación de hidrógeno aumenta a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada.

EJEMPLO 2

45 La Tabla 3 muestra un diagrama de ciclo para un sistema de cinco lechos de adsorción que se pueden usar según el procedimiento descrito en la presente memoria y se usa en las simulaciones presentadas en el Ejemplo 2. En este ejemplo de cinco lechos, los lechos de adsorción experimentan una etapa (A) de adsorción, una primera igualación

de la presión mediante la etapa (1) de retirada de gas de vacío, una segunda igualación de la presión mediante la etapa (2) de retirada de gas de vacío, una etapa (PP) de purga proporcionada, una etapa (B) de extracción, una etapa (P) de purga, una etapa (I) de inactividad, una segunda igualación de la presión mediante la etapa (2') de introducción del gas de vacío, una segunda etapa (I) de inactividad, una primera igualación de la presión mediante una etapa de introducción del gas de vacío con ayuda de gas producto rico en hidrógeno (1') y una etapa (R) de represurización. Según el ciclo del ejemplo en la Tabla 3, la etapa de purga proporcionada es después de la segunda igualación de la presión mediante una etapa de retirada del gas de vacío.

Como en el Ejemplo 1, se realizaron simulaciones computacionales, pero esta vez para un sistema de cinco lechos de adsorción. El funcionamiento de la válvula para las diversas etapas es similar al descrito en el Ejemplo 1.

TABLA 3

A	A	A	1	2	PP	B	B	P	I	2'	I	1'	R	R
I	2'	I	1'	R	R	A	A	A	1	2	PP	B	B	P
1	2	PP	B	B	P	I	2'	I	1'	R	R	A	A	A
B	B	P	I	2'	I	1'	R	R	A	A	A	1	2	PP
1'	R	R	A	A	A	1	2	PP	B	B	P	I	2'	I

Para fines de comparación, se presentan simulaciones para dos mezclas de gases de alimentación diferentes. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 80% de hidrógeno, 19,7% de metano y 0,3% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias esperadas para tratar mezclas de gases de alimentación con altas concentraciones de hidrógeno. Los resultados de las simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 20% de hidrógeno, 78,6% de metano y 1,4% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias descubiertas por los autores para tratar mezclas de gases de alimentación con bajas concentraciones de hidrógeno.

En las simulaciones, el ajuste de la válvula para el lecho que proporciona gas de purga se ajustó para variar la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. Para cada simulación, se fijó la presión de extracción final a aproximadamente 135 kPa. La presión propuesta en las etapas de igualación se fijó a aproximadamente 10 kPa. Como parte de la solución de la simulación, se determinó la presión al final de cada etapa de igualación.

La presión al final de cada etapa para cuatro casos con mezclas de gases de alimentación que comprende 20% de hidrógeno se proporciona en la Tabla 4. Las unidades de presión son MPa. También se indica la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga

$$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$$

proporcionada,

TABLA 4

Etapa	A	1	2	PP	B	P	2'	1'	R	$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
Caso										
1	1,48	1,11	0,58	0,44	0,133	0,12	0,57	1,1	1,44	2,2
2	1,48	1,12	0,58	0,5	0,134	0,14	0,57	1,1	1,44	4,2
3	1,48	1,12	0,58	0,53	0,135	0,14	0,57	1,1	1,44	6,7
4	1,48	1,12	0,58	0,56	0,135	0,14	0,57	1,1	1,44	14,2

La FIG. 3 presenta resultados de las simulaciones computacionales para mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de adsorción de cinco lechos utilizando el ciclo en la Tabla 4. Los resultados muestran la tendencia esperada de que la recuperación de hidrógeno disminuye a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga

proporcionada. La recuperación de hidrógeno disminuye desde aproximadamente 85% a una relación de aproximadamente 0,2 hasta una recuperación de hidrógeno menor que 80% a una relación de aproximadamente 5.

La FIG. 3 también presenta resultados de las simulaciones para mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de adsorción de cinco lechos utilizando el ciclo en la Tabla 4. Los resultados muestran que la recuperación de hidrógeno está por encima de 80% para una relación mayor que 2. La recuperación de hidrógeno aumenta por encima de 88% para una relación mayor que aproximadamente 5.

Por contraste con los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno, los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno muestran que la recuperación de hidrógeno aumenta a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada.

Las simulaciones computacionales ilustran el deseo de aumentar la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para mezclas de gases de alimentación que comprenden bajas concentraciones de hidrógeno. Las simulaciones muestran que para un sistema de adsorción con 5 lechos de adsorción y un ciclo con 2 etapas de igualación, se desea una relación mayor que 2 para una recuperación de hidrógeno mayor que 80%, se desea una relación mayor que 4 para recuperación de hidrógeno mayor que 87% y se desea una relación mayor que 7 para una recuperación de hidrógeno mayor que 89%.

EJEMPLO 3

La Tabla 5 muestra un diagrama de ciclo para un sistema de cinco lechos de adsorción que se pueden usar según el procedimiento descrito en la presente memoria y se usa en las simulaciones presentadas en el Ejemplo 3. En este ejemplo de cinco lechos, los lechos de adsorción experimentan una etapa (A) de adsorción, una primera igualación de presión por una etapa (1) de retirada del gas de vacío, una segunda igualación de presión mediante una etapa (2) de retirada del gas de vacío, una etapa (PP) de purga proporcionada, una tercera igualación de presión por una etapa (3) de retirada del gas de vacío, una etapa (B) de extracción, una etapa (P) de purga, una tercera igualación de presión por una etapa (3') de introducción del gas de vacío, una segunda igualación de presión por una etapa (2') de introducción del gas de vacío, una etapa (I) de inactividad, una primera igualación de presión por etapa de introducción del gas de vacío con ayuda (1') de gas producto rico en hidrógeno y una etapa (R) de represurización. Según el ciclo del ejemplo en la Tabla 5, la etapa de purga proporcionada sigue la segunda igualación de presión por una etapa de retirada del gas de vacío y precede la tercera igualación de presión por una etapa de retirada del gas de vacío.

Como en el Ejemplo 1, se realizaron simulaciones computacionales. El funcionamiento de la válvula para las diversas etapas es similar al descrito en el Ejemplo 1.

TABLA 5

A	A	A	1	2	PP	3	B	P	3'	2'	1	1'	R	R
3'	2'	I	1'	R	R	A	A	A	1	2	PP	3	B	P
1	2	PP	3	B	P	3'	2'	I	1'	R	R	A	A	A
3	B	P	3'	2'	I	1'	R	R	A	A	A	1	2	PP
1'	R	R	A	A	A	1	2	PP	3	B	P	3'	2'	I

Para fines de comparación, se presentan simulaciones para dos mezclas diferentes de gases de alimentación. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 80% de hidrógeno, 19,7% de metano y 0,3% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias esperadas para tratar mezclas de gases de alimentación con altas concentraciones de hidrógeno. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 20% de hidrógeno, 78,6% de metano y 1,4% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias descubiertas por los autores para tratar mezclas de gases de alimentación con bajas concentraciones de hidrógeno.

En las simulaciones, el ajuste de la válvula para el lecho que proporciona gas de purga se ajustó para variar la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. Para cada simulación, se fijó la presión de extracción final a aproximadamente 135 kPa. La presión propuesta en las etapas de igualación se fijó a aproximadamente 10 kPa. Como parte de la solución de la simulación, se determinó la presión al final de cada etapa de igualación.

La presión al final de cada etapa para cuatro casos con mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de

hidrógeno se da en la Tabla 6. Las unidades de la presión son MPa. También se indica la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga

$$\text{proporcionada, } \left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right),$$

TABLA 6

Caso	Etapa A	1	2	PP	3	B	P	3'	2'	1'	R	$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
1	1,48	1,11	0,68	0,47	0,29	0,13	0,13	0,28	0,66	1,1	1,44	0,77
2	1,48	1,13	0,71	0,60	0,34	0,14	0,14	0,33	0,70	1,1	1,44	1,8
3	1,48	1,13	0,72	0,64	0,37	0,14	0,14	0,36	0,71	1,1	1,44	2,9
4	1,48	1,14	0,74	0,70	0,39	0,14	0,14	0,38	0,73	1,1	1,44	6,2

5 La FIG. 4 presenta resultados de las simulaciones computacionales para mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de adsorción de cinco lechos utilizando el ciclo en la Tabla 5. Los resultados muestran la tendencia esperada de que la recuperación de hidrógeno disminuye a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. La recuperación de hidrógeno disminuye desde aproximadamente 85% a una relación de aproximadamente 0,6 hasta una recuperación de hidrógeno menor que 80% a una relación de aproximadamente 5.

10 15 La FIG. 4 también presenta resultados de las simulaciones para mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de adsorción de cinco lechos utilizando el ciclo en la Tabla 5. Los resultados muestran que la recuperación de hidrógeno está por encima de 80% para una relación mayor que 2. La recuperación de hidrógeno aumenta por encima de 88% para una relación mayor que aproximadamente 5.

20 25 Por contraste con los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno, los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno muestran que la recuperación de hidrógeno aumenta a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada.

30 35 Las simulaciones computacionales ilustran el deseo de aumentar la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para mezclas de gases de alimentación que comprenden bajas concentraciones de hidrógeno. Las simulaciones muestran que para un sistema de adsorción con 5 lechos de adsorción y un ciclo con 3 etapas de igualación, se desea una relación mayor que 1,6 para recuperación de hidrógeno mayor que 80%, se desea una relación mayor que 3 para recuperación de hidrógeno mayor que 87% y se desea una relación mayor que aproximadamente 5 para una recuperación de hidrógeno mayor que 89%.

40 45 Comparando estos resultados con el Ejemplo 2, la relación requerida es menor para 3 etapas de igualación que para 2 etapas de igualación para proporcionar la misma recuperación de hidrógeno.

EJEMPLO 4

40 45 La Tabla 7 muestra un diagrama de ciclo para un sistema de seis lechos de adsorción que se pueden usar según el procedimiento descrito en la presente memoria y usado en las simulaciones presentadas en el Ejemplo 4. En este ejemplo de seis lechos, los lechos de adsorción experimentan una etapa (A) de adsorción, una primera igualación de presión por una etapa (1) de retirada del gas de vacío, una segunda igualación de presión por una etapa (2) de retirada del gas de vacío, una etapa (PP) de purga proporcionada, una etapa (B) de extracción, una etapa (P) de purga, una etapa (I) de inactividad, una segunda igualación de presión por una etapa (2') de introducción del gas de vacío, una segunda etapa (I) de inactividad, una primera igualación de presión por una etapa de introducción del gas

de vacío, ayuda (1') de gas producto rico en hidrógeno y una etapa (R) de represurización. Según el ciclo del ejemplo en la Tabla 7, la etapa de purga proporcionada sigue la segunda igualación de presión por una etapa de retirada del gas de vacío.

5

TABLA 7

A	A	A	A	A	A	1	2	PP	B	B	P	I	2'	I	1'	R	R
1'	R	R	A	A	A	A	A	1	2	PP	B	B	P	I	2'	I	
I	2'	I	R	1'	R	A	A	A	A	A	1	1	PP	B	B	P	
B	B	P	I	2'	I	1'	R	R	A	A	A	A	A	1	2	PP	
1	2	PP	B	B	P	I	2'	I	1'	R	R	A	A	A	A	A	
A	A	A	1	2	PP	B	B	P	I	2'	I	1'	R	R	A	A	A

Como en el Ejemplo 1, se realizaron simulaciones computacionales. El funcionamiento de la válvula para las diversas etapas es similar al descrito en el Ejemplo 1.

10 Para fines de comparación, se presentan simulaciones para dos mezclas de gases de alimentación diferentes. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 80% de hidrógeno, 19,7% de metano y 0,3% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias esperadas para tratar mezclas de gases de alimentación con altas concentraciones de hidrógeno. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 20% de hidrógeno, 78,6% de metano y 1,4% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias descubiertas por los autores para tratar mezclas de gases de alimentación con bajas concentraciones de hidrógeno.

20 En las simulaciones, el ajuste de la válvula para el lecho que proporciona gas de purga se ajustó para variar la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. Para cada simulación, se fijó la presión de extracción final a aproximadamente 135 kPa. La presión propuesta en las etapas de igualación se fijó a aproximadamente 10 kPa. Como parte de la solución de la simulación, se determinó la presión al final de cada etapa de igualación.

25 La presión al final de cada etapa para cuatro casos con mezclas de gases de alimentación que comprende 20% de hidrógeno se da en la Tabla 8. Las unidades de la presión son MPa. También se indica la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada,

$$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$$

30 La FIG. 5 presenta resultados de las simulaciones computacionales para mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de seis lechos de adsorción utilizando el ciclo en la Tabla 7. Los resultados muestran la tendencia esperada de que la recuperación de hidrógeno disminuye a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. La recuperación de hidrógeno disminuye desde aproximadamente 85% a una relación de aproximadamente 0,6 hasta una recuperación de hidrógeno menor que 80% a una relación de aproximadamente 5.

TABLA 8

Etapa	A	1	2	PP	B	P	2'	1'	R	$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
Caso										
1	1,48	1,09	0,57	0,41	0,13	0,13	0,56	1,1	1,44	1,8
2	1,48	1,09	0,57	0,48	0,13	0,14	0,56	1,1	1,44	4,0
3	1,48	1,09	0,57	0,51	0,13	0,14	0,56	1,1	1,44	6,5
4	1,48	1,09	0,57	0,54	0,14	0,14	0,56	1,1	1,44	13,5

Este hallazgo es consistente con la técnica anterior con seis lechos de adsorción. Por ejemplo, la Patente de EE.UU. Nº 4.482.361 para Whysall describe una relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la purga proporcionada de 0,37.

5 La FIG. 5 también presenta resultados de las simulaciones para mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de seis lechos de adsorción utilizando el ciclo en la Tabla 7. Los resultados muestran que la recuperación de hidrógeno está por encima de 80% para una relación mayor que 2. La recuperación de hidrógeno aumenta por encima de 88% para una relación mayor que aproximadamente 5.

10 Por contraste con los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno, los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno muestran que la recuperación de hidrógeno aumenta a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada.

15 20 Las simulaciones computacionales ilustran el deseo de aumentar la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para mezclas de gases de alimentación que comprenden bajas concentraciones de hidrógeno. Las simulaciones muestran que para un sistema de adsorción con 6 lechos de adsorción y un ciclo con 2 etapas de igualación, se desea una relación mayor que aproximadamente 2 para recuperación de hidrógeno mayor que 80%, se desea una relación mayor que 3 para recuperación de hidrógeno mayor que 87% y se desea una relación mayor que aproximadamente 5 para una recuperación de hidrógeno mayor que 89%.

25 Comparando estos resultados con el Ejemplo 2, la relación requerida es menor para 6 lechos de adsorción que para 5 lechos de adsorción para proporcionar la misma recuperación de hidrógeno.

EJEMPLO 5

30 La Tabla 9 muestra un diagrama de ciclo para un sistema de seis lechos de adsorción que se puede usar según el procedimiento descrito en la presente memoria y usado en las simulaciones presentadas en el Ejemplo 5. En este ejemplo de seis lechos, los lechos de adsorción experimentan una etapa de adsorción (A), una primera igualación de presión por una etapa (1) de retirada del gas de vacío, una segunda igualación de presión por una etapa (2) de 35 retirada del gas de vacío, una tercera igualación de presión por una etapa (3) de retirada del gas de vacío, una etapa (I) de inactividad, una etapa (PP) de purga proporcionada, una etapa (B) de extracción, una etapa (P) de purga, una tercera igualación de presión por una etapa (3') de introducción del gas de vacío, una segunda etapa (I') de inactividad, una segunda igualación de presión por una etapa (2') de introducción del gas de vacío, una tercera etapa (I) de inactividad, una primera igualación de presión por una etapa de introducción del gas de vacío con ayuda (1') de 40 gas producto rico en hidrógeno y una etapa (R) de represurización. Según el ciclo del ejemplo en la Tabla 9, la etapa de purga proporcionada sigue a la tercera igualación de presión por una etapa de retirada del gas de vacío.

TABLA 9

A	A	A	A	A	1	2	3	I	P	P	B	B	P	P	3'	I	I	2'	I	I	I'	R	R	R
I	2'	I	I	I'	R	R	R	A	A	A	A	1	2	3	I	P	P	B	B	P	P	3'	I	
1	2	3	I	P	P	B	B	P	P	3'	I	I	2'	I	I	I'	R	R	R	A	A	A	A	
P	P	3'	I	I	2'	I	I	I'	R	R	R	A	A	A	A	1	2	3	I	P	P	B	B	
I'	R	R	R	A	A	A	A	1	2	3	I	P	P	B	B	P	P	3'	I	I	2'	I	I	
P	P	B	B	P	P	3'	I	I	2'	I	I	I'	R	R	R	A	A	A	A	1	2	3	I	

Como en el Ejemplo 1, se realizaron simulaciones computacionales. El funcionamiento de la válvula para las diversas etapas es similar al descrito en el Ejemplo 1.

- 5 Para fines de comparación, se presentan simulaciones para dos mezclas diferentes de gases de alimentación. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 80% de hidrógeno, 19,7% de metano y 0,3% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias esperadas para tratar mezclas de gases de alimentación con altas concentraciones de hidrógeno. Los resultados de simulaciones usando una mezcla de gases de alimentación que comprende 20% de hidrógeno, 78,6% de metano y 1,4% de nitrógeno se presentan para ilustrar tendencias descubiertas por los autores para tratar mezclas de gases de alimentación con bajas concentraciones de hidrógeno.
- 10 En las simulaciones, el ajuste de la válvula para el lecho que proporciona gas de purga se ajustó para variar la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. Para cada simulación, se fijó la presión de extracción final a aproximadamente 135 kPa. La presión propuesta en las etapas de igualación se fijó a aproximadamente 10 kPa. Como parte de la solución de la simulación, se determinó la presión al final de cada etapa de igualación.
- 15 La presión al final de cada etapa para cuatro casos con mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno se da en la Tabla 10. Las unidades de presión son MPa. También se indica la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada,
- 20
- $$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$$
- 25 La FIG. 6 presenta resultados de las simulaciones computacionales para mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno mostrando porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de la disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de seis lechos de adsorción utilizando el ciclo en la Tabla 9. Los resultados muestran la tendencia esperada de que la recuperación de hidrógeno disminuye a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada. La recuperación de hidrógeno disminuye desde aproximadamente 86% a una relación de aproximadamente 0,5 hasta una recuperación de hidrógeno menor que 82% a una relación de aproximadamente 3.
- 30 La FIG. 6 también presenta resultados para las simulaciones para mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno mostrando el porcentaje de recuperación de hidrógeno como una función de la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para el sistema de seis lechos de adsorción utilizando el ciclo en la Tabla 9. Los resultados

muestran que la recuperación de hidrógeno está por encima de 86% para una relación mayor que 2. La recuperación de hidrógeno aumenta por encima de 90% para una relación mayor que aproximadamente 3.

TABLA 10

Caso	Etapa	A	1	2	3	PP	B	P	3'	2'	1'	R	$\left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
1	1	1,48	1,15	0,76	0,43	0,32	0,13	0,13	0,42	0,75	1,1	1,44	1,9
2	2	1,48	1,15	0,76	0,43	0,35	0,13	0,14	0,42	0,75	1,1	1,44	3,1
3	3	1,48	1,15	0,76	0,43	0,38	0,13	0,14	0,42	0,75	1,1	1,44	5,3
4	4	1,48	1,15	0,76	0,43	0,40	0,13	0,14	0,41	0,75	1,1	1,44	10,4

- 5 Por contraste con los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 80% de hidrógeno, los resultados para las mezclas de gases de alimentación que comprenden 20% de hidrógeno muestran que la recuperación de hidrógeno aumenta a medida que aumenta la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada.
- 10 Las simulaciones computacionales ilustran el deseo de aumentar la relación de disminución de la presión durante la etapa de extracción a la disminución de la presión durante la etapa de purga proporcionada para mezclas de gases de alimentación que comprenden bajas concentraciones de hidrógeno. Las simulaciones muestran que para un sistema de adsorción con 6 lechos de adsorción y un ciclo con 3 etapas de igualación, se desea una relación mayor
- 15 que aproximadamente 2 para recuperación de hidrógeno mayor que 86%, se desea una relación mayor que 3 para recuperación de hidrógeno mayor que 90% y se desea una relación mayor que aproximadamente 5 para una recuperación de hidrógeno mayor que 92%.
- 20 Al tiempo que la invención se ha descrito en detalle y con referencia a ejemplos específicos de la misma, será evidente para un experto en la materia que se pueden hacer diversos cambios y modificaciones que estén dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para separar selectivamente hidrógeno de al menos un componente más fuertemente absorbible en al menos cuatro lechos de adsorción contenido cada uno un adsorbente selectivo para al menos un componente más fuertemente adsorbible para producir un gas producto rico en hidrógeno, comprendiendo el procedimiento someter cada uno de los lechos de adsorción a un ciclo repetitivo que comprende:

5 (a) introducir una mezcla de gases de alimentación que comprende 5% a 50% de hidrógeno a una presión elevada en un primer lecho de adsorción y adsorber al menos un componente más fuertemente adsorbible sobre el adsorbente en el primer lecho de adsorción al tiempo que se retira el gas producto rico en hidrógeno del primer lecho de adsorción, dejando después un primer gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción sustancialmente a la presión elevada;

10 (b) retirar en corriente en el mismo sentido una primera porción del primer gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la primera porción del primer gas del espacio vacío a un segundo lecho de adsorción para igualación de la presión;

15 (c) retirar en corriente en el mismo sentido una segunda porción del primer gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la segunda porción del primer gas del espacio vacío a un tercer lecho de adsorción para purgar el tercer lecho de adsorción con la segunda porción del primer gas del espacio vacío que resulta de una primera disminución de la presión ΔP_1 en el primer lecho de adsorción, en el que dicha disminución de la presión es desde una primera presión P_1 a una segunda presión P_2 tal que $\Delta P_1 = (P_1 - P_2)$;

20 (d) retirar en corriente en el mismo sentido una tercera porción del primer gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la tercera porción del primer gas del espacio vacío a uno de, el tercer lecho de adsorción y un cuarto lecho de adsorción para igualación de la presión;

25 (e) retirar a contracorriente una cuarta porción del primer gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción dando como resultado una segunda disminución de la presión ΔP_2 en el primer lecho de adsorción, en el que dicha disminución de la presión es desde la segunda presión P_2 o una tercera presión P_3 a una presión P_4 de purga tal que $\Delta P_2 = (P_2 - P_4)$ cuando la segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la segunda presión P_2 a la presión P_4 de extracción y $\Delta P_2 = (P_3 - P_4)$ cuando la segunda disminución de la presión en el primer lecho de adsorción es desde la tercera presión P_3 a la presión P_4 de extracción;

30 (f) introducir a contracorriente una primera porción de un segundo gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción para purgar el primer lecho de adsorción, el segundo gas del espacio vacío desde uno de: un quinto lecho de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción y el cuarto lecho de adsorción;

35 (g) introducir a contracorriente una segunda porción del segundo gas del espacio vacío o una porción de un tercer gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción de uno de: un sexto lecho de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción y el quinto lecho de adsorción para igualación de la presión;

40 (h) introducir a contracorriente una porción de un cuarto gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción, el cuarto gas del espacio vacío de uno de: un séptimo lecho de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción para igualación de la presión y

45 (i) al menos uno de, introducir en corriente del mismo sentido la mezcla de gases de alimentación e introducir a contracorriente el gas producto rico en hidrógeno desde al menos uno de: un recipiente de almacenamiento de gas producto rico en hidrógeno, un octavo lecho de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción en el primer lecho de adsorción hasta que el primer lecho de adsorción está sustancialmente a la presión elevada;

en el que las etapas se realizan en el orden (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i) o en el orden (a), (b), (d), (c),

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \geq 2,0$$

50 (e), (f), (g), (h), (i) y en el que .

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que retirar la segunda porción del gas del espacio vacío es previo a retirar la tercera porción del gas del espacio vacío.

55 3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que retirar la tercera porción del gas del espacio vacío es previo a retirar la segunda porción del gas del espacio vacío.

60 4. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que el segundo gas del espacio vacío es de uno de, el cuarto lecho de adsorción y el quinto lecho de adsorción.

5. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que el tercer gas del espacio vacío es de uno de: el segundo lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción.

6. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que el cuarto gas del espacio vacío es de uno de: el segundo lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción.
- 5 7. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que el gas producto rico en hidrógeno introducido en el primer lecho de adsorción es de al menos uno de, el tercer lecho de adsorción y el cuarto lecho de adsorción.
- 10 8. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, que comprende además introducir a contracorriente el gas producto rico en hidrógeno desde al menos uno de: el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción, el sexto lecho de adsorción y el octavo lecho de adsorción en el primer lecho de adsorción simultáneamente con la introducción a contracorriente de la segunda porción del segundo gas del espacio vacío o la porción del tercer gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción para igualación de la presión con ayuda de gas producto rico en hidrógeno.
- 15 9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que el gas rico en hidrógeno para igualación de la presión con ayuda de gas producto rico en hidrógeno es de al menos uno de, el tercer lecho de adsorción y el cuarto lecho de adsorción.
- 20 10. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, que comprende además:
- (j) retirar en corriente en el mismo sentido una quinta porción del primer gas del espacio vacío del primer lecho de adsorción y hacer pasar la quinta porción del primer gas del espacio vacío a uno de: el tercer lecho de adsorción y el sexto lecho de adsorción para igualación de la presión e
- 25 (k) introducir a contracorriente una porción de un quinto gas del espacio vacío en el primer lecho de adsorción, el quinto gas del espacio vacío de uno de: un noveno lecho de adsorción, el segundo lecho de adsorción, el tercer lecho de adsorción, el cuarto lecho de adsorción, el quinto lecho de adsorción, el sexto lecho de adsorción, el séptimo lecho de adsorción y el octavo lecho de adsorción para igualación de la presión;
- 30 en el que la etapa (j) tiene lugar antes o después de la etapa (c) pero después de la etapa (d) y antes de la etapa (e) y en el que la etapa (k) tiene lugar después de la etapa (f) y antes de la etapa (g).
- 35 11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que el quinto gas del espacio vacío es de uno de, el segundo lecho de adsorción y el tercer lecho de adsorción.
12. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que la mezcla de gases de alimentación comprende 5% a 40% de hidrógeno.
- 40 13. El procedimiento según la reivindicación 12, en el que la mezcla de gases de alimentación comprende 5% a 30% de hidrógeno.
- 45 14. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que el gas producto rico en hidrógeno comprende al menos 95% de hidrógeno.
15. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que
- $$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \geq 3,0$$
16. El procedimiento según la reivindicación 15, en el que
- $$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \geq 4,0$$
- 50 17. El procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que la presión P_4 de extracción en la etapa (e) es 108 kPa a 170 kPa.

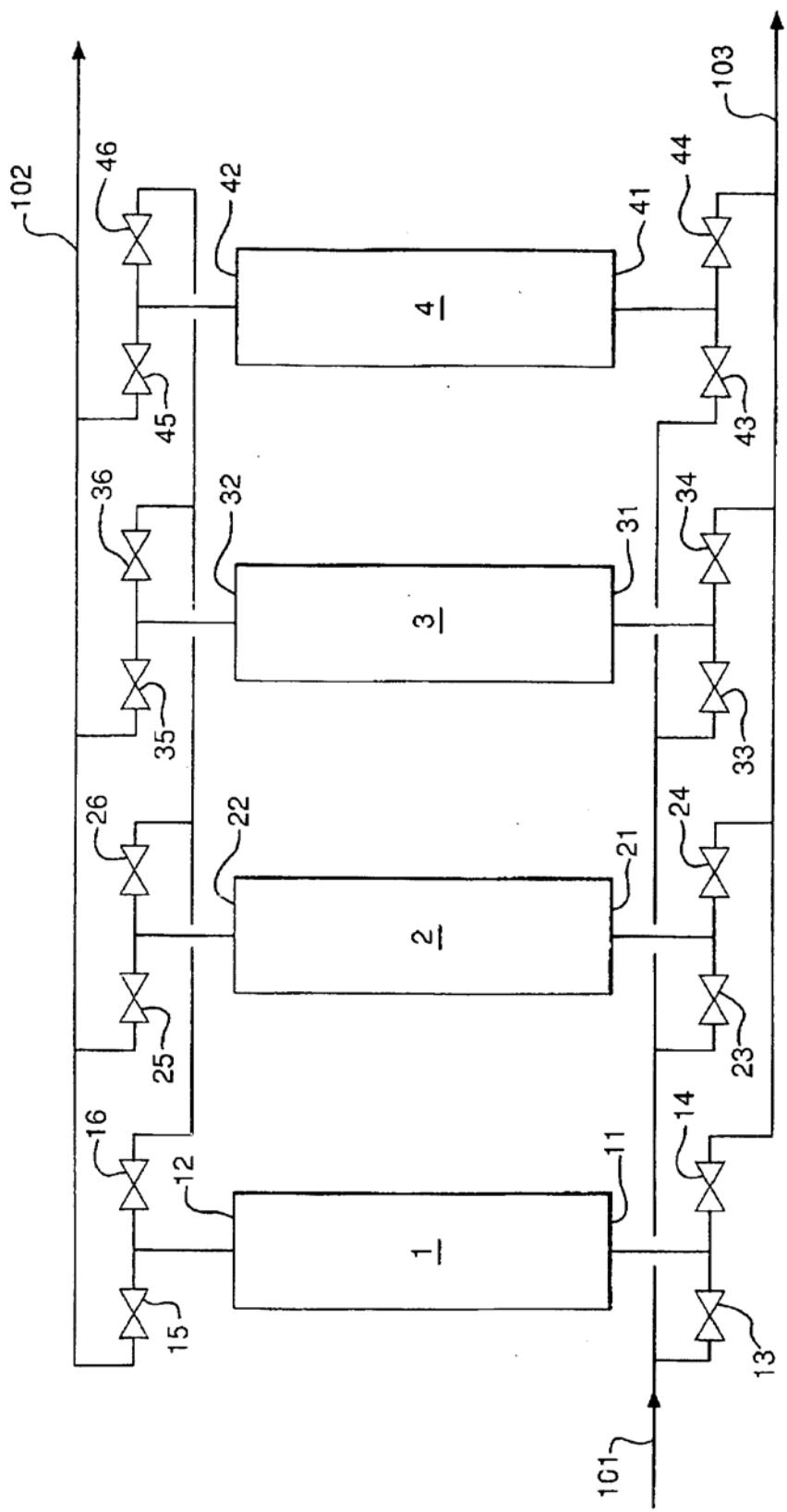
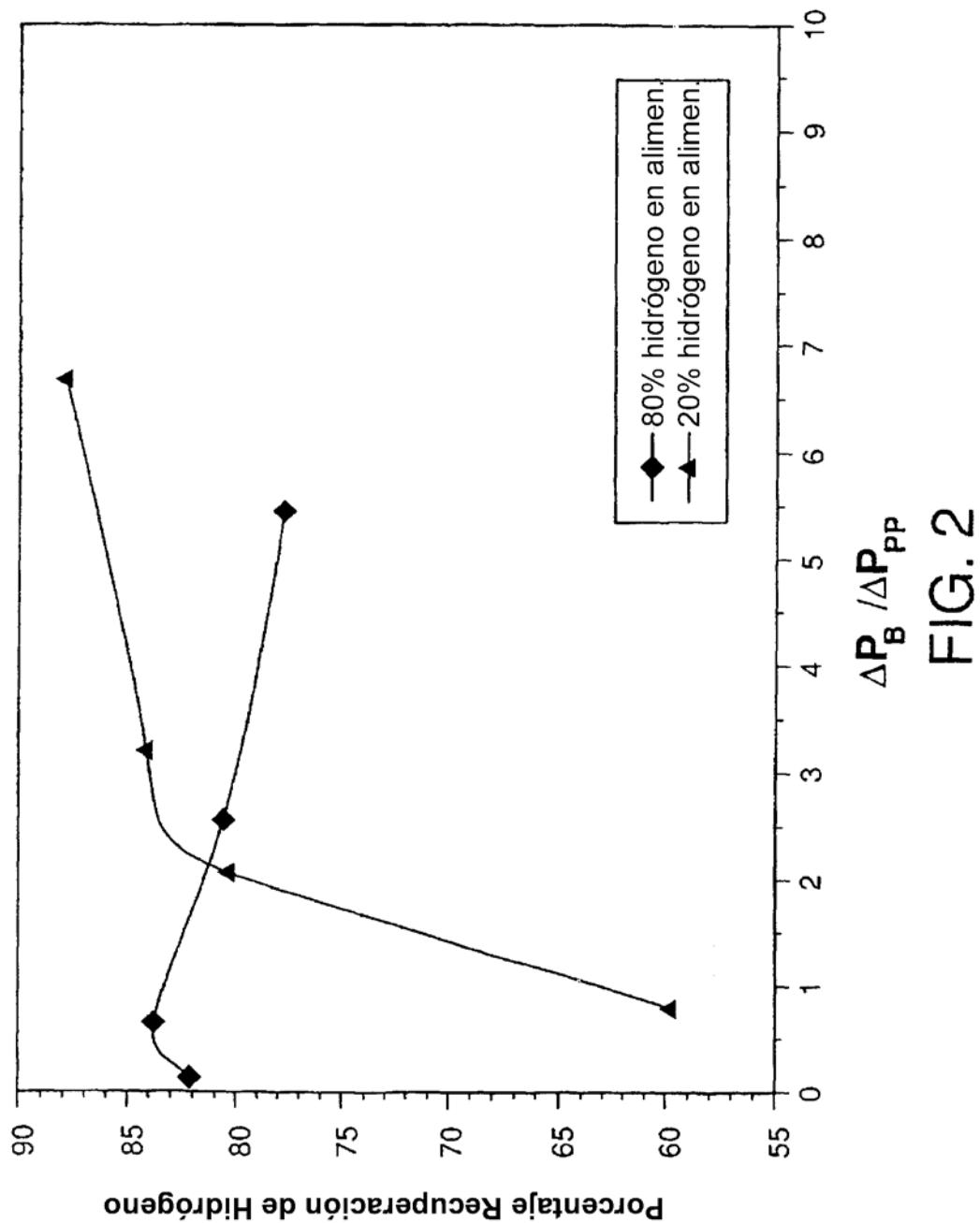


FIG. 1



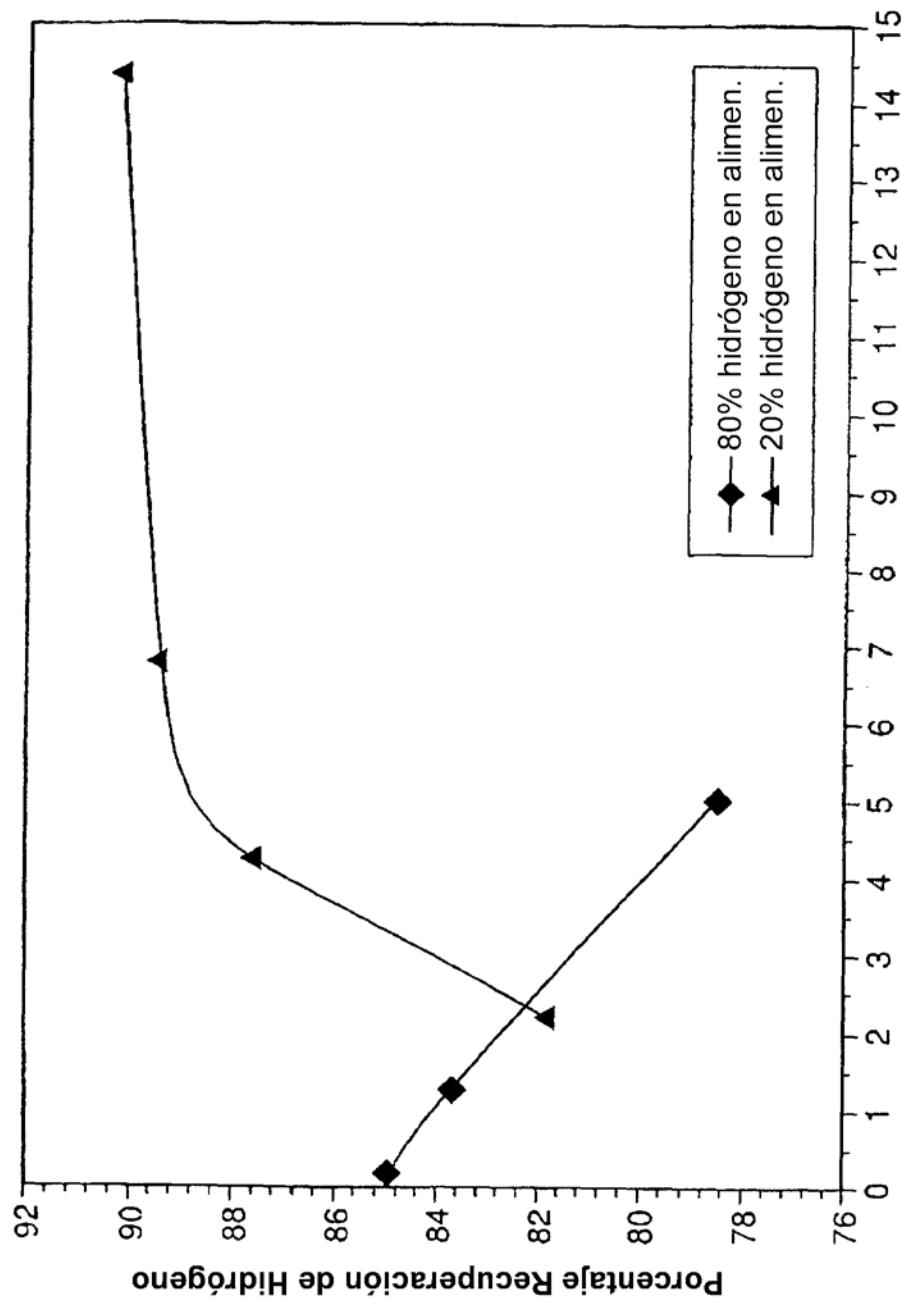


FIG. 3

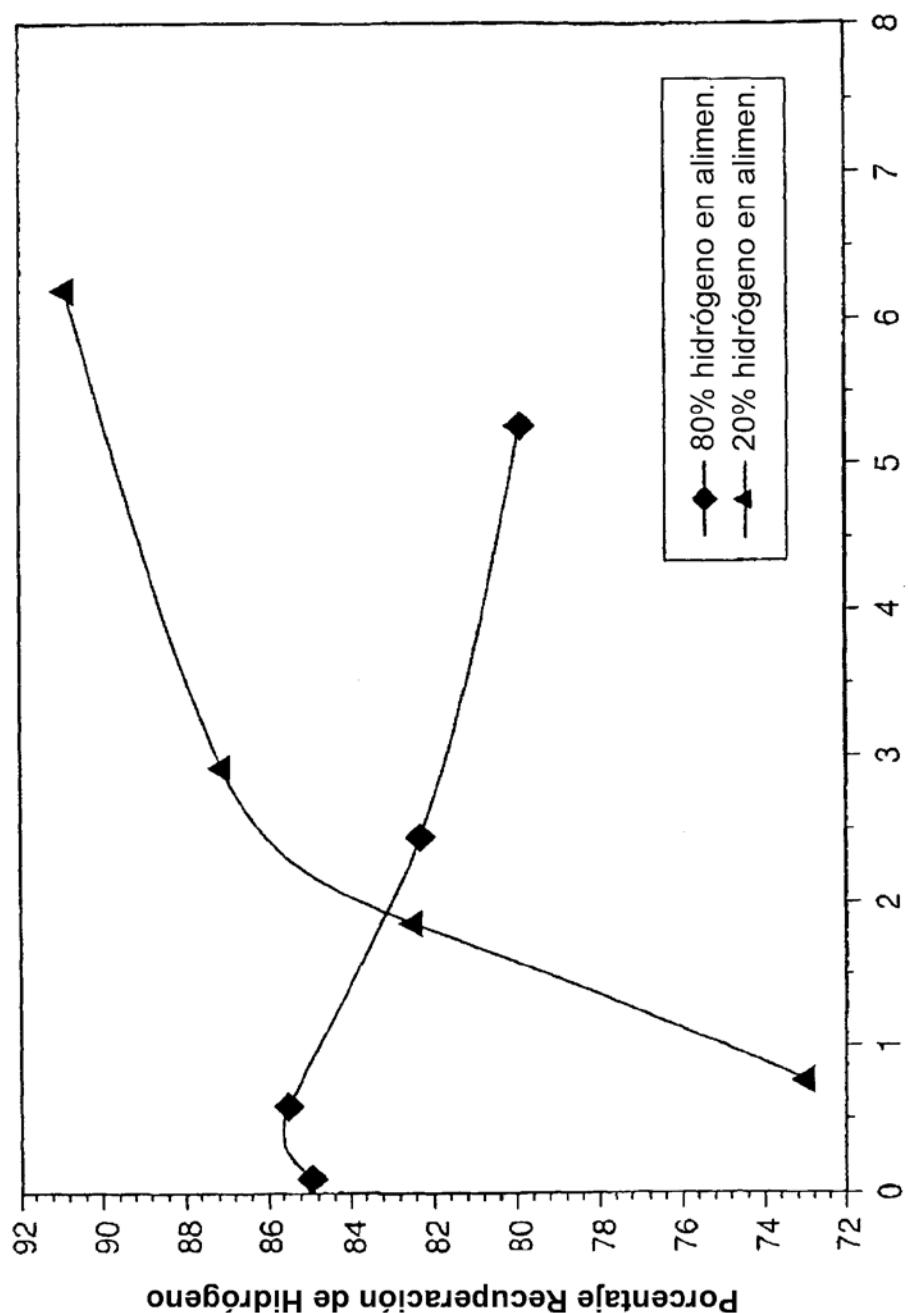
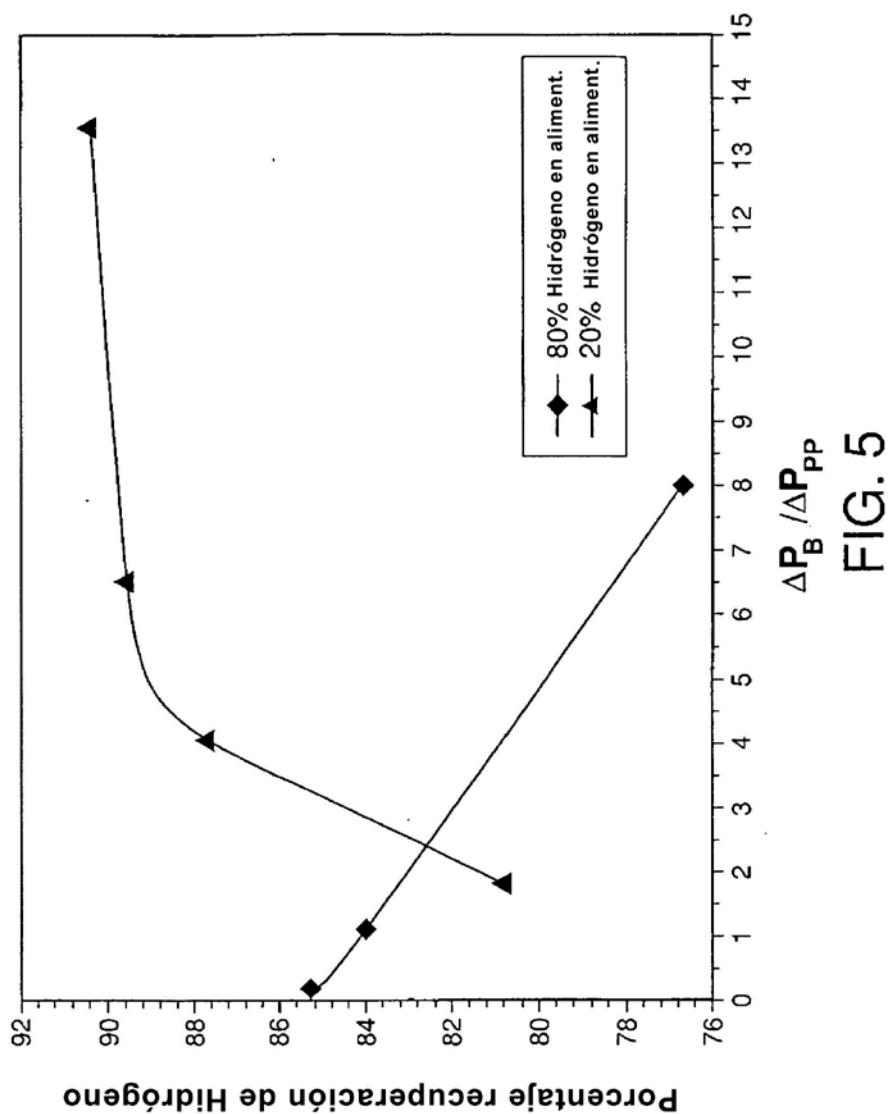


FIG. 4



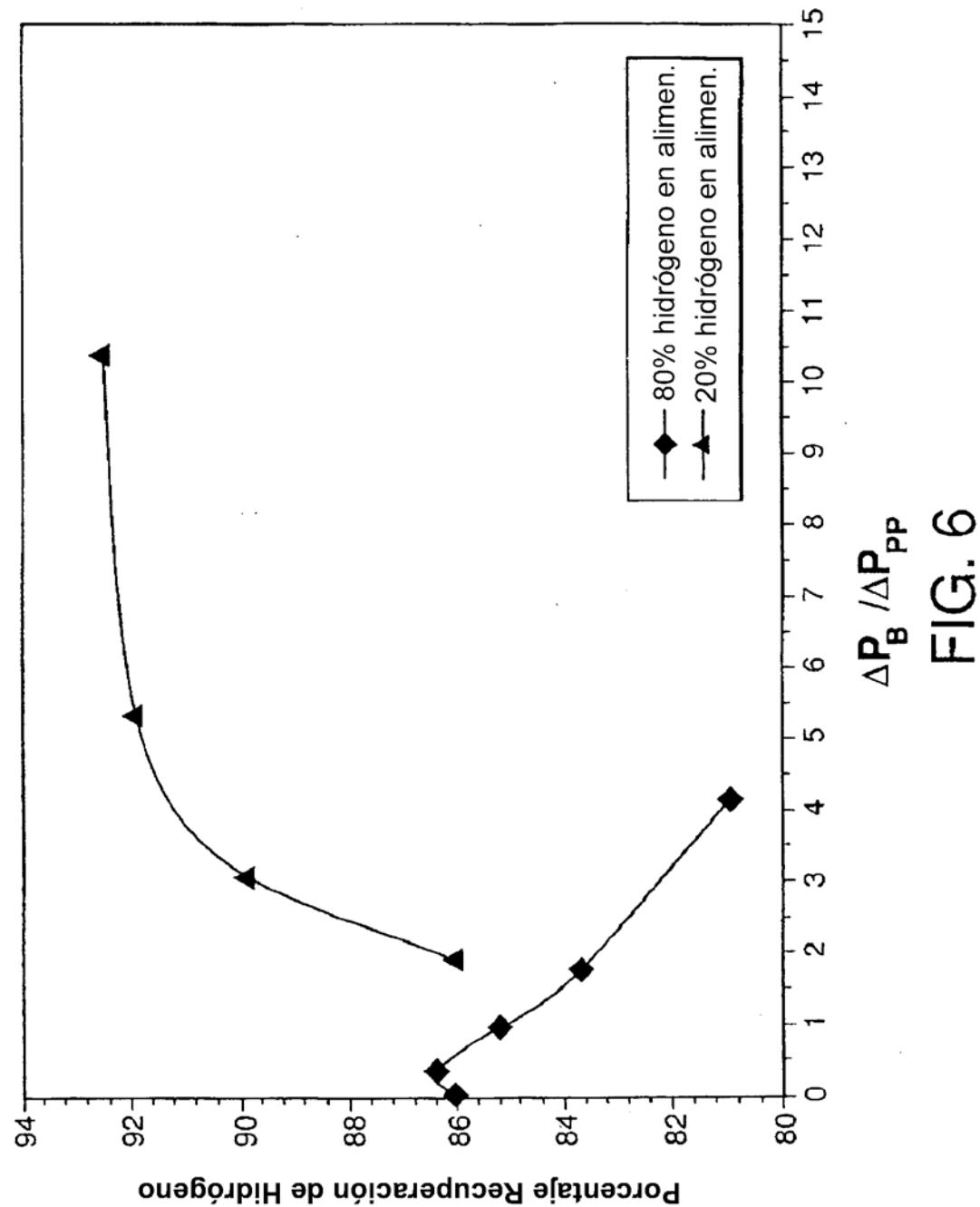


FIG. 6