

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



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

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

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

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

30 Prioridad:  
**14.03.2007 US 685992**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**30.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**30.03.2012**

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

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

74 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 purzas 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

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  $H_2$ . En las realizaciones ejemplificadas el hidrógeno se recupera de una alimentación que comprende 77,1% o 75% de  $H_2$ , 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).

20

25

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

30

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. N° 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.

35

40

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.

45

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.

50

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  $H_2$  de alta pureza de la mezcla  $H_2$ /gas natural en cada estación de reabastecimiento. Problemas prácticos limitan el contenido de  $H_2$  de este gas a menos de aproximadamente veinte por ciento, consistiendo los componentes restantes en especies de gas natural típicas (por ejemplo, metano,  $N_2$ , hidrocarburos  $C_2+$ ).

55

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 hidrocrqueo, hidrosulfuración 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,

65

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  
10 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.

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 H<sub>2</sub> de alta pureza (98% o mayor) a partir de gas de alimentación de H<sub>2</sub> diluido (con una concentración de H<sub>2</sub> de 30-50%), pero en que la recuperación de hidrógeno en la corriente de H<sub>2</sub> 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 H<sub>2</sub> y se producen 41,4 kmol/h de producto de H<sub>2</sub> de alta pureza, siendo la recuperación de H<sub>2</sub>, por lo tanto, 8%. La unidad de PSA utiliza una etapa de alimentación de  
20 alta presión, una primera etapa de despresurización que produce una corriente enriquecida en H<sub>2</sub> y producto de CO y una etapa de extracción en contracorriente que rechaza CO<sub>2</sub>, agua e hidrocarburos superiores. La corriente enriquecida en H<sub>2</sub> y producto de CO puede tratarse con posterioridad en una unidad criogénica o segunda unidad de PSA para recuperación adicional del H<sub>2</sub> contenido en la misma.

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 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), conteniendo 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  
35 comprende:

(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  
40 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;

(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;

(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  
50 primer lecho de adsorción desde una primera presión  $P_1$  a una segunda presión  $P_2$ ;

(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

segunda presión  $P_2$  o una tercera presión  $P_3$  a una presión  $P_4$  de extracción; en la que 
$$\frac{(P_2 - P_4)}{(P_1 - P_2)} \geq 2,0$$

60 o  $\geq 3,0$  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 
$$\frac{(P_3 - P_4)}{(P_1 - P_2)} \geq 2,0$$
 o  $\geq 3,0$  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;  
 (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.

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

60 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 la etapa de purga proporcionada para un sistema con seis lechos de adsorción y tres etapas de igualación.  
 20

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%.  
 35

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 conteniendo 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.  
 45

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.  
 50  
 55

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, H<sub>2</sub>S, COS, CS<sub>2</sub>) y gases que contienen nitrógeno (por ejemplo, NO, NH<sub>3</sub>). 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).  
 60  
 65

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.

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

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. N° 6.503.299 para Baksh et al.

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.

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.

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".

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.

La presión elevada puede estar en el intervalo de 440 kPa (50 psig) a 3,2 MPa (450 psig). Sustancialmente a la presión elevada significa dentro del 10% de la presión elevada.

Al final de la etapa de adsorción, el lecho de adsorción contiene lo que se denomina un gas de espacio vacío que es una combinación de moléculas tanto de fase gas como de fase absorbida. El gas de espacio vacío presenta una concentración promedio superior de los componentes más fuertemente adsorbibles que la mezcla de gases de alimentación puesto que se retiró el hidrógeno como corriente de producto. La concentración de los diversos componentes de la mezcla de gases de espacio vacío variará generalmente como una función de la distancia desde el extremo de entrada al extremo de vertido del lecho de adsorción. El gas del espacio vacío cerca del extremo de vertido tendrá generalmente una concentración alta de hidrógeno. El gas del espacio vacío cerca del extremo de entrada tendrá generalmente una concentración mayor de al menos un componente más fuertemente adsorbible.

Las porciones del gas del espacio vacío con concentraciones de hidrógeno relativamente altas son útiles para purgar otros lechos de adsorción durante las etapas de purga e incrementar la presión de otros lechos de adsorción durante las etapas de igualación de la presión.

El gas del espacio vacío con alta concentración de al menos un componente más fuertemente adsorbible se debería retirar del lecho de adsorción previamente a las etapas de adsorción posteriores en el lecho.

La dirección del flujo durante otras etapas se describe típicamente con referencia a la dirección de flujo durante la etapa de adsorción. Así el flujo de gas en la misma dirección que el flujo de gas durante la etapa de adsorción es "en

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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  $\Delta P_1$  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 tiempo de purga proporcionada que puede ser 1 segundo a 300 segundos.
- 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

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  $\Delta P_2$  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

30 lecho de adsorción es desde la segunda presión  $P_2$  a la presión  $P_4$  de extracción y  $\frac{(P_3 - P_4)}{(P_1 - P_2)} \geq 2,0$  o  $\geq 3,0$  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  
40 etapa de introducir gas del espacio vacío para purgar un lecho de adsorción se denomina comúnmente una "etapa de purga" y se representa por "P" en las Tablas 1, 3, 5, 7 y 9. El lecho de adsorción que proporciona el 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  
50 tercer 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 tercer 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  
55 espacio vacío o el tercer 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.

15 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.

25 Se puede introducir 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.

30 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.

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 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.

60 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, 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 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 represurizar 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 de adsorción **2** 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 de **4** 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.

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.

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 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 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 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.

55 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.

65 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

5 
$$\left( \frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$$
 proporcionada,

TABLA 2

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

35 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

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

TABLA 4

Etapa \ Caso	A	1	2	PP	B	P	2'	1'	R	$\left( \frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
	1	1,48	1,11	0,58	0,44	0,133	0,12	0,57	1,1	
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

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

**TABLA 6**

Etapa Caso	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
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.

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.

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 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%.

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**

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

10 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.

15 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

Caso	Etapa A	1	2	PP	B	P	2'	1'	R	$\left( \frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
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. N° 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  
10 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.

15 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.

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  
25 recuperación de hidrógeno mayor que 89%.

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.

#### 30 EJEMPLO 5

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 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')  
35 de 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.  
40

TABLA 9

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

15 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.

20 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,

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

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.

35 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**

<b>Caso</b> \ <b>Etapa</b>	A	1	2	3	PP	B	P	3'	2'	1'	R	$\left( \frac{\Delta P_B}{\Delta P_{PP}} \right)$
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	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	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	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 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 conteniendo 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:

(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;

(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;

(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  $\Delta P_1$  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  $\Delta P_1 = (P_1 - P_2)$ ;

(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;

(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  $\Delta P_2$  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;

(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;

(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;

(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

(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),

(e), (f), (g), (h), (i) y en el que  $\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \geq 2,0$ .

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.

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.

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.

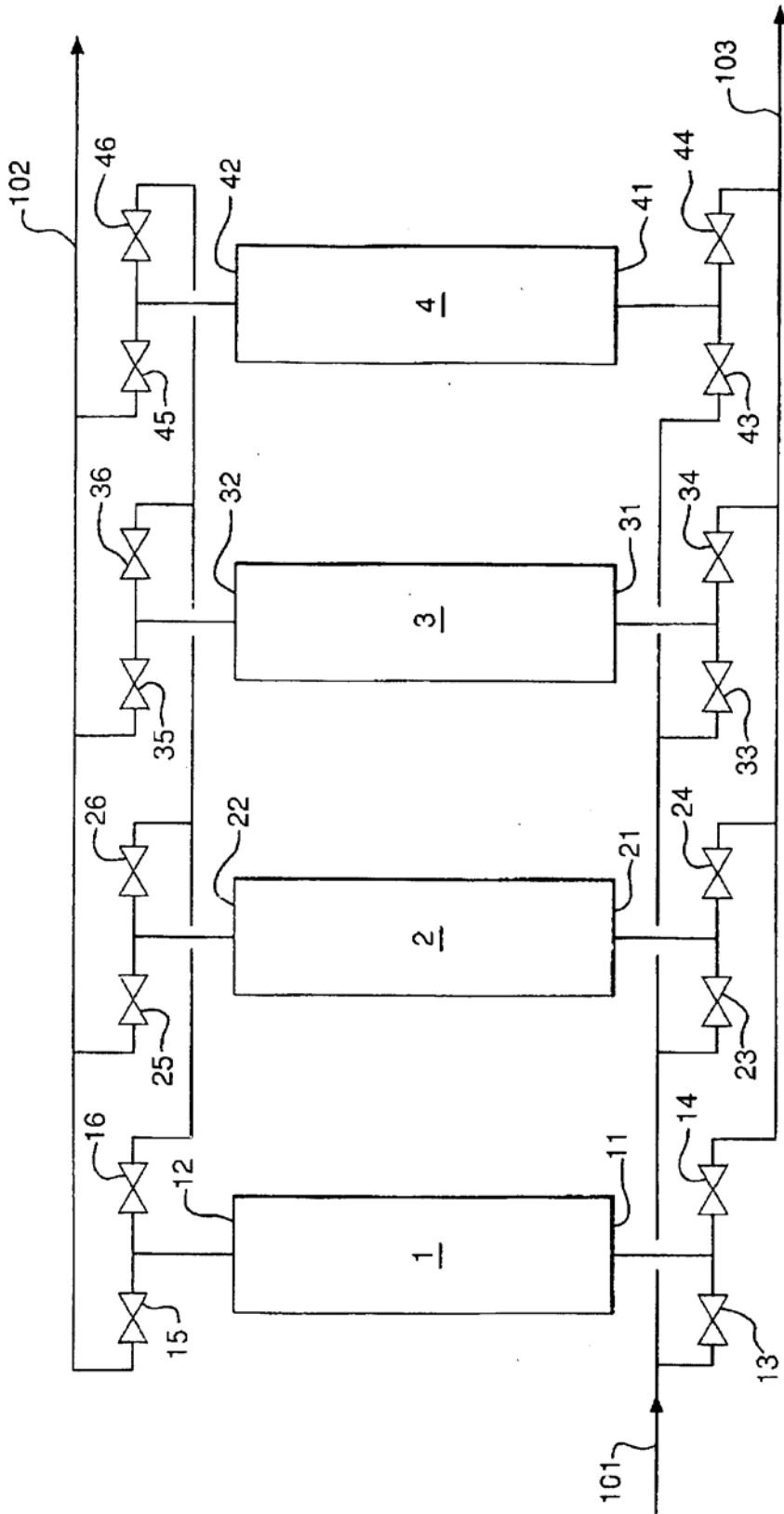


FIG.1

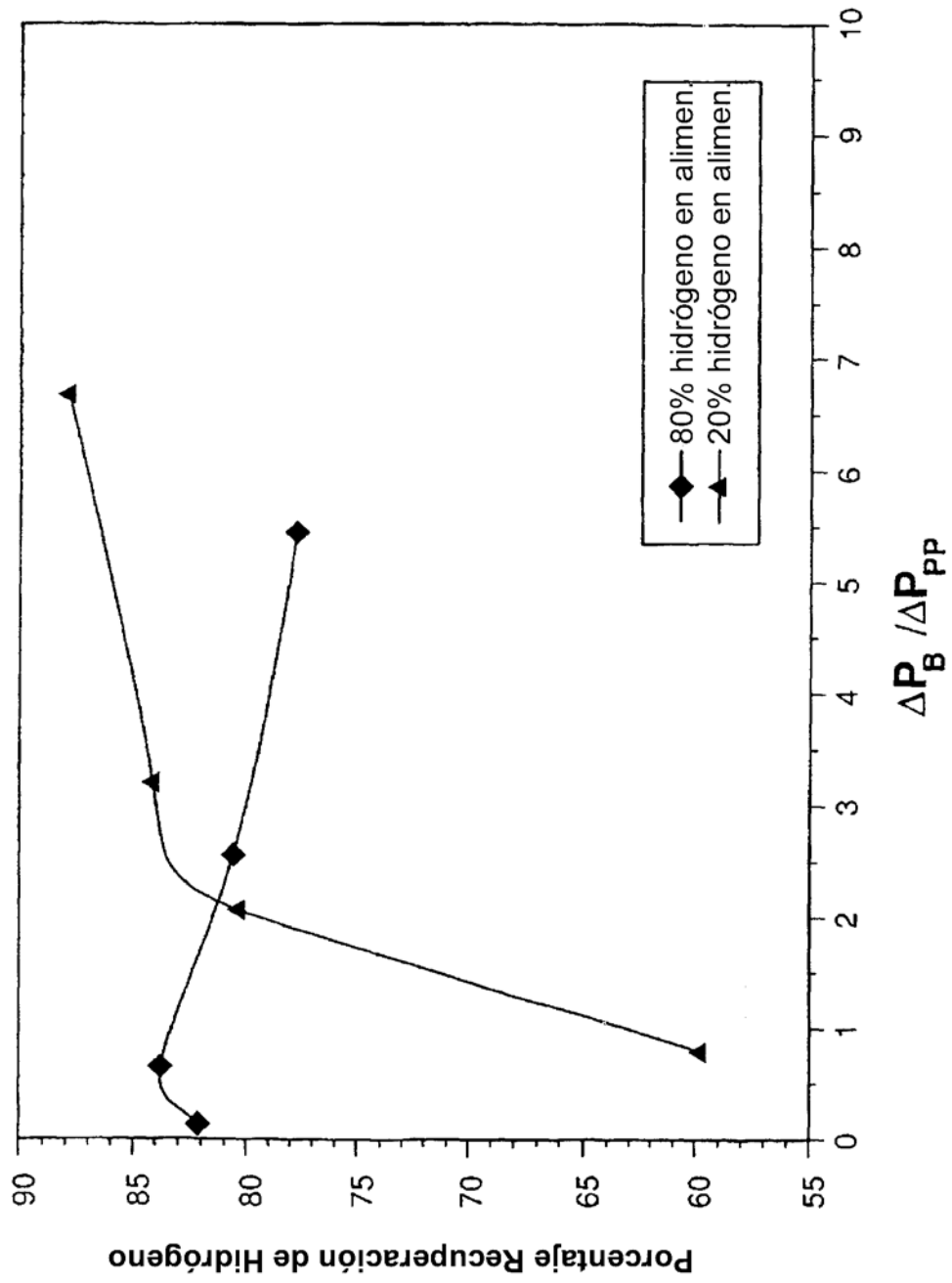
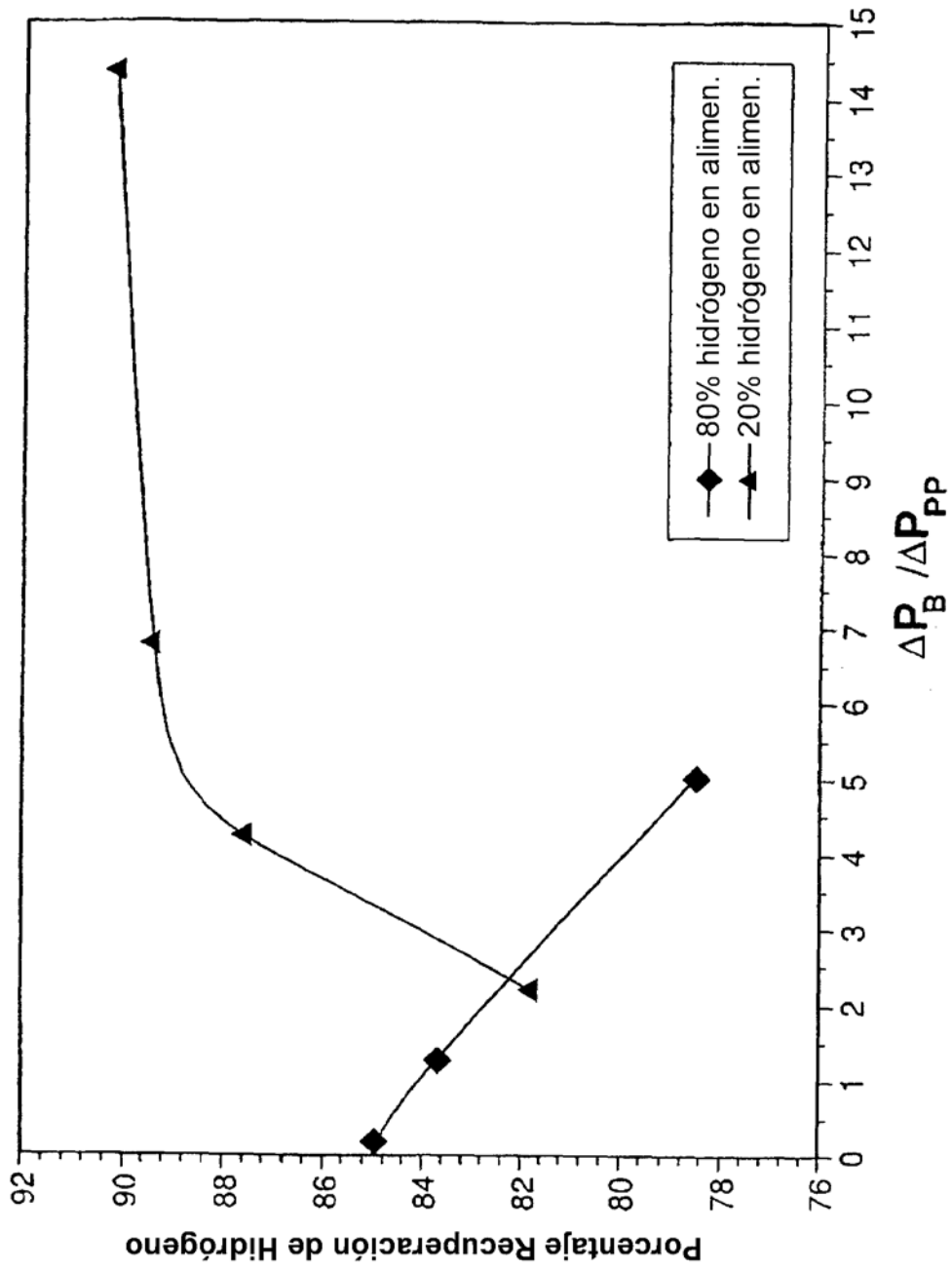


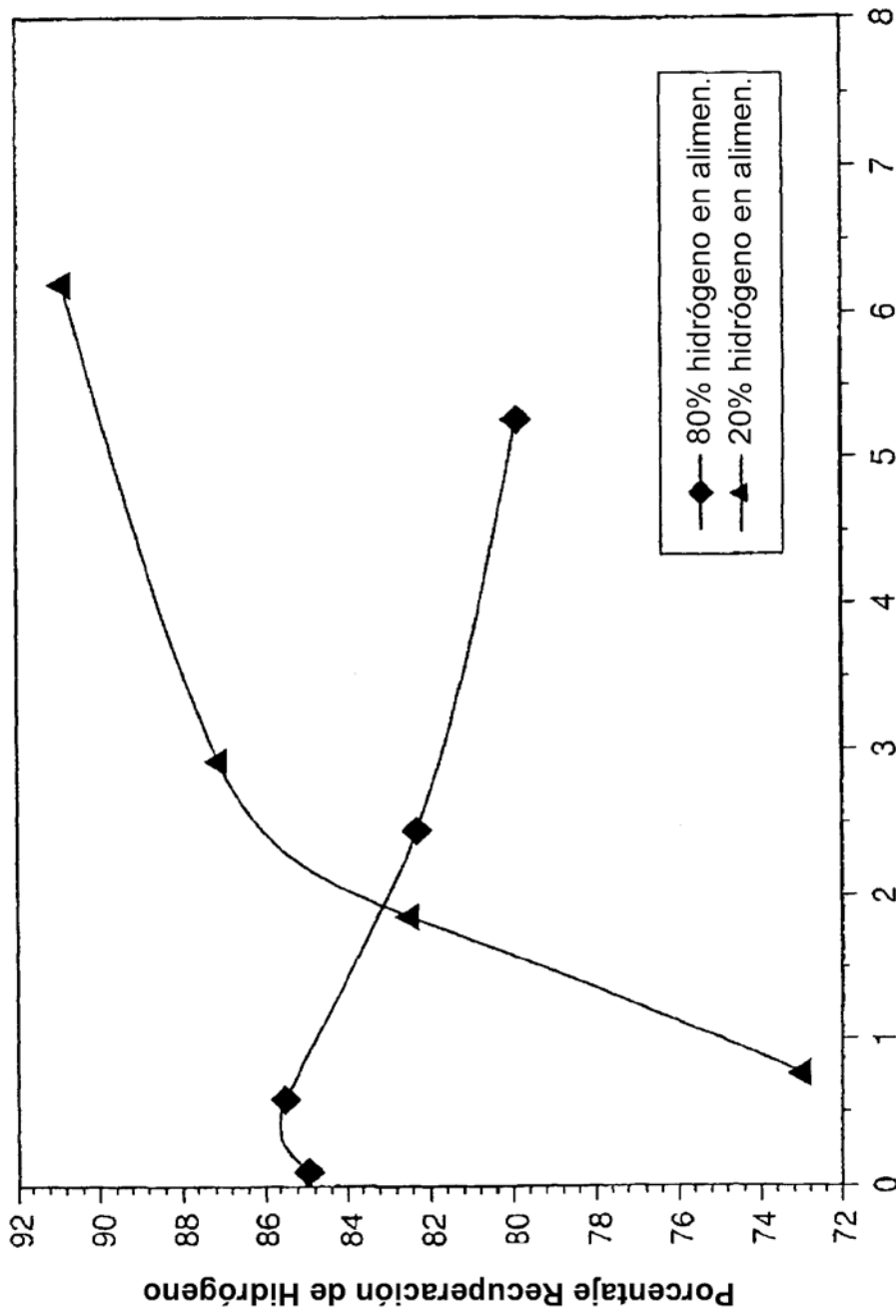
FIG. 2





$\Delta P_B / \Delta P_{PP}$

FIG. 3



$\Delta P_B / \Delta P_{PP}$   
FIG. 4

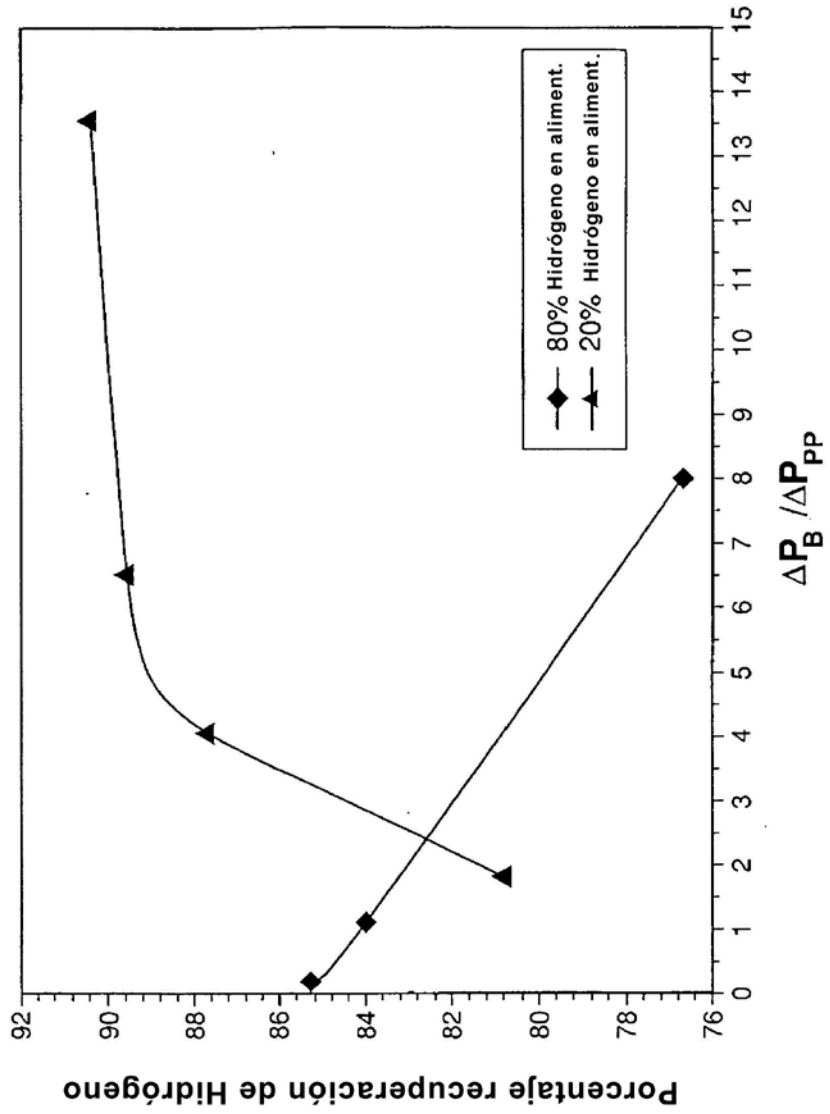
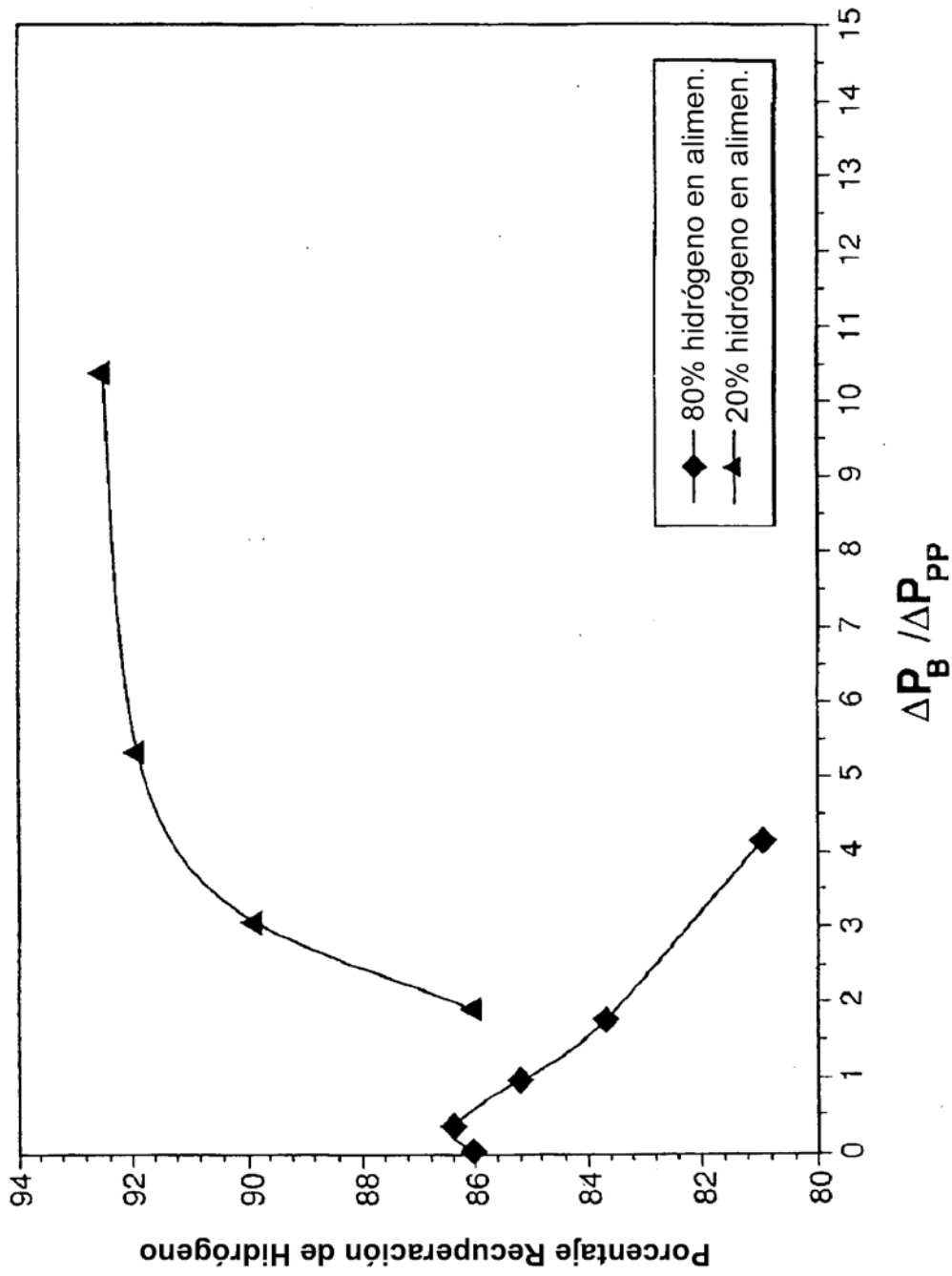


FIG. 5



$\Delta P_B / \Delta P_{PP}$   
FIG. 6