

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 467**

51 Int. Cl.:

B01D 53/047 (2006.01)

C01B 3/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2007** **E 07754299 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015** **EP 2007503**

54 Título: **Procedimiento de adsorción por oscilación de presión al vacío para recuperar dióxido de carbono de alta pureza**

30 Prioridad:

03.04.2006 US 395138

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

23.04.2015

73 Titular/es:

PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 OLD RIDGEBURY ROAD
DANBURY, CT 06810-5113, US

72 Inventor/es:

KUMAR, RAVI

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 534 467 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

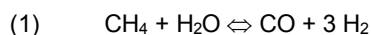
Procedimiento de adsorción por oscilación de presión al vacío para recuperar dióxido de carbono de alta pureza

Campo técnico

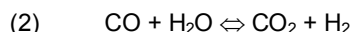
5 La presente invención se refiere, en general, a procedimientos por oscilación de presión al vacío (VPSA, siglas del inglés "vacuum pressure swing adsorption") y a un aparato para recuperar CO₂, con una pureza de aproximadamente ≥90% en moles, de corrientes que contienen al menos CO₂ y H₂ (por ejemplo, gas de síntesis). La alimentación a la unidad VPSA de CO₂ puede estar a una presión superior a la presión ambiente. La unidad VPSA de CO₂ produce tres corrientes: una corriente enriquecida en H₂, una corriente empobrecida en H₂ y una corriente de CO₂ producto.

10 Antecedentes de la invención

El reformado de metano con vapor de agua (SMR) es el procedimiento básico para producir hidrógeno (H₂) en grandes cantidades. Después de la conversión catalítica del gas natural, se produce CO y H₂ como se indica a continuación en la ecuación (1):



15 La mezcla de gases se desplaza (mediante la reacción de desplazamiento agua-gas) para producir H₂ adicional, según la ecuación (2):



20 Después de la reacción de desplazamiento agua-gas, el gas producto típico tiene una presión entre aproximadamente 689,5 y 3.447,4 kPa (100-500 psia), una temperatura entre aproximadamente 15,6 y 65,6°C (60-150°F), y una composición de 60-80% en moles de H₂, 15-25% en moles de CO₂, 0,1-5% en moles de CO, 3-7% en moles de CH₄, 0-5% en moles de N₂ y está saturado de agua. Esta mezcla de gases se puede alimentar, luego, a una unidad de adsorción por oscilación de presión (PSA) para producir H₂ de alta pureza (por ejemplo, H₂ con una pureza de al menos 99%).

25 En algunas plantas actuales de producción de H₂, entre el reactor de desplazamiento y la unidad PSA de H₂ se coloca una unidad de amina para extraer el CO₂ de la corriente producida en el reactor de desplazamiento. Sin embargo, este procedimiento consume mucha energía. Además, las unidades de amina pueden ser difíciles de manejar y se sabe que tienen problemas de funcionamiento, tales como corrosión, pérdida de fluido y similares.

30 La patente de EE.UU. N° 4.171.206 se refiere a la producción de CO₂ de alta pureza y de H₂ de alta pureza, con una alta recuperación del CO₂ del gas efluente de un SMR. Esta patente describe dos trenes de lechos de adsorción que durante las etapas de alimentación y represurización están en comunicación entre sí. Los lechos del tren de CO₂ emplean una etapa de lavado mediante CO₂ de alta pureza a alta presión. A esta etapa le siguen la despresurización y la realización de vacío en el mismo lecho. El gas despresurizado se recomprime y se utiliza para el lavado a alta presión. El efluente de la etapa de lavado de alta pureza a alta presión se recicla a la alimentación.

35 La patente de EE.UU. N° 4.299.596 se refiere a la producción de dos productos de alta pureza mediante el empleo de dos trenes de lechos, que están integrados en las etapas de alimentación y despresurización en equicorriente. El tren que produce las especies adsorbidas más fuertemente se purga mediante el gas despresurizado en equicorriente, después de que se ha recomprimido. Parte del gas despresurizado en equicorriente se puede reciclar para la represurización. Las etapas de realización de vacío y de purga producen parte de las especies adsorbidas más fuertemente y parte del gas de purga.

40 La patente de EE.UU. N° 4.770.676 se refiere a la producción de metano y CO₂ a partir de gases de vertedero. Es un procedimiento integrado de adsorción por oscilación térmica (TSA) y oscilación de presión (PSA). Los desechos producidos en la PSA regeneran la TSA.

45 La patente de EE.UU. N° 4.840.647 se refiere a la producción de CO₂ con una pureza ≥95% a partir de una corriente de alimentación que contiene 10-30% de CO₂ a presión ambiente. Las etapas del procedimiento para producir el producto son: alimentación, realización de vacío en equicorriente, realización de vacío en contracorriente y una etapa de represurización. El gas evacuado en equicorriente se utiliza para igualaciones de la presión/represurización y se mezcla con la alimentación.

50 La patente de EE.UU. N° 4.857.083 considera la producción de CO₂ a partir de una mezcla de gases. Al final de la etapa de alimentación, el extremo de descarga de la columna de alimentación se conecta con el extremo de entrada del lecho en el que se ha hecho el vacío para reducir la presión en este lecho. Luego, se produce dióxido de carbono haciendo el vacío. A esto le siguen unas etapas de restablecimiento de la presión.

La patente de EE.UU. N° 4.913.709 se refiere a la producción de dos productos de alta pureza. Esta referencia sugiere la utilización de dos trenes de lechos, que están integrados en las etapas de alimentación y represurización.

El tren que produce las especies adsorbidas más fuertemente se purga mediante las especies adsorbidas más fuertemente obtenidas durante la etapa de realización de vacío. Esta purga se efectúa a baja presión y se lleva a cabo después de que el lecho se ha despresurizado. El efluente de la etapa de purga se recomprime y se recicla como alimentación.

- 5 La patente de EE.UU. N° 4.915.711 describe la producción de dos productos de alta pureza utilizando un solo tren de lechos. El lecho se purga mediante las especies adsorbidas más fuertemente obtenidas durante la etapa de realización de vacío. Esta purga se efectúa a baja presión y se lleva a cabo después de que el lecho se ha despresurizado. El efluente producido durante la etapa de purga y la etapa de despresurización se recomprime y se recicla como alimentación.
- 10 La patente de EE.UU. N° 5.026.406 describe la producción de dos productos de alta pureza mediante el empleo de un solo tren de lechos. Los lechos se purgan mediante las especies adsorbidas más fuertemente obtenidas durante la etapa de realización de vacío. Esta purga se efectúa a baja presión y se lleva a cabo después de que los lechos se han despresurizado. El efluente producido durante la etapa de purga y la etapa de despresurización se recomprime y se recicla como alimentación.
- 15 En la patente de EE.UU. N° 5.051.115, se producen las especies adsorbidas más fuertemente a partir de una mezcla de gases de alta pureza. Para las especies de alta pureza adsorbidas fuertemente se emplea una etapa de purga en equicorriente. Durante la etapa de realización de vacío se obtiene esta corriente de purga y el producto. El efluente de la etapa de purga se recicla para represurización.
- 20 La patente de EE.UU. N° 6.245.127 comenta la producción de CO₂ a partir de una mezcla de gases a baja presión de una pureza constante. Se emplean unas etapas simultáneas de purga y de realización de vacío. La purga en contracorriente se lleva a cabo mediante las especies adsorbidas menos fuertemente.

Sería deseable proporcionar unos procedimientos y un aparato para la recuperación de CO₂ económicamente beneficiosos. Sería deseable, además, que tales procedimientos y tal aparato fueran más eficaces y más fáciles de utilizar en comparación con la técnica anterior.

25 **Compendio de la invención**

La presente invención se refiere, en general, a procedimientos de adsorción por oscilación de presión al vacío (VPSA) y a un aparato para recuperar CO₂, con una pureza de aproximadamente $\geq 90\%$ en moles, de corrientes que contienen al menos CO₂ y H₂ (por ejemplo, gas de síntesis). La alimentación a la unidad VPSA de CO₂ puede estar a una presión superior a la presión ambiente. La unidad VPSA de CO₂ produce tres corrientes: una corriente enriquecida en H₂, una corriente empobrecida en H₂ y una corriente de CO₂ producto. La invención se expone en las reivindicaciones.

El dióxido de carbono producido de acuerdo con la presente invención se puede utilizar para cualquier propósito que se desee. Por ejemplo, y aunque no se ha de interpretar como limitativo, el CO₂ producido como se describe en la presente memoria se puede utilizar para producir por licuefacción productos de calidad grado alimentario, CO₂ supercrítico para mejorar la recuperación de petróleo o, simplemente, CO₂ para secuestro para evitar el vertido a la atmósfera de gases adicionales de efecto invernadero con el fin de satisfacer los requisitos reglamentarios.

Cuando la unidad VPSA de CO₂ se instala entre un reactor de SMR/desplazamiento y una unidad PSA de H₂, se espera que mediante la extracción de CO₂ aumente la recuperación de H₂, aumentando de ese modo la presión parcial del H₂ en la corriente de alimentación de la PSA de H₂. El CO₂ recuperado se puede adicionalmente mejorar, secuestrar o utilizar en aplicaciones tales como la recuperación mejorada de petróleo (EOR).

La presente invención utiliza unas despresurizaciones de los adsorbentes, de alta presión a baja presión, para aumentar la concentración de CO₂ en el(los) lecho(s). Después de que se aumenta la concentración de CO₂, se produce el CO₂ producto mediante una reducción adicional de la presión. Esto se puede conseguir por el conocimiento de que, para algunos adsorbentes, la despresurización de alta a baja presión aumenta la concentración de CO₂ en el(los) lecho(s) de adsorbente. En consecuencia, se puede eliminar la necesidad de las etapas de lavado, purga y/o reciclado, tal como se utilizan en la técnica anterior. Esto permite, a su vez, la eliminación de algunas máquinas rotativas (por ejemplo, el compresor de lavado, el compresor de purga, el compresor de recirculación) y las exigencias de energía asociadas, proporcionando de ese modo un procedimiento y un aparato que se espera que sean más sencillos de manejar y más eficaces que los sistemas de la técnica anterior.

50 Los procedimientos propuestos no requieren vapor de agua y, por ello, se espera que se reduzca el coste de la separación del CO₂. Para aumentar la recuperación de CO₂ y reducir las pérdidas de H₂, la presente invención para restablecer o aumentar la presión en los lechos a baja presión utiliza el gas despresurizado. Por lo tanto, la despresurización de un lecho aumenta la concentración de CO₂ en el producto y, mediante la igualación de su presión con otros lechos de la unidad, aumenta al mismo tiempo la recuperación de CO₂, ya que este gas no se desecha.

En las realizaciones preferidas en las que el aparato VPSA de CO₂ se instala entre el reactor de un reformador de metano con vapor de agua (SMR)/desplazamiento y una unidad PSA de H₂, se reduce la cantidad de CO₂ en la

corriente de alimentación a la unidad PSA de H₂, permitiendo de ese modo un aumento de la recuperación del H₂ procedente de la unidad PSA de H₂. En otras realizaciones de la presente invención, se puede proporcionar una corriente de alimentación mediante, por ejemplo, un reactor de oxidación parcial. En cualquiera de estas realizaciones, la corriente de alimentación a la unidad VPSA de CO₂ es una corriente que contiene al menos H₂ y CO₂ a alta presión (por ejemplo, 689,5 a 3.447,4 kPa (100-500 psia)). Mediante la eliminación del equipo de trabajo severo (es decir, la maquinaria rotativa), como se ha mencionado anteriormente, y de las exigencias de energía correspondientes, se espera que la presente invención produzca más eficazmente CO₂, a partir de gas de síntesis o de otras corrientes que contengan al menos CO₂ y H₂, en comparación con la técnica anterior.

Breve descripción de los dibujos

10 Para una comprensión más completa de la presente invención y de las ventajas de la misma, se hace referencia a la siguiente descripción detallada, que se ha de considerar conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 representa una realización de acuerdo con la presente invención en la que se ha colocado una unidad VPSA de CO₂ aguas arriba de una unidad PSA de H₂;

15 la Figura 2 representa el diagrama de ciclos y etapas de un ejemplo de un procedimiento de cinco lechos con dos igualaciones de la presión de acuerdo con la invención;

la Figura 3 muestra una vista esquemática de la unidad VPSA de CO₂ para su utilización en el procedimiento de cinco lechos de la Figura 2 de acuerdo con la presente invención;

la Figura 4 muestra el funcionamiento de las válvulas indicadas en el esquema del procedimiento de la Figura 3 de acuerdo con la presente invención;

20 la Figura 5 representa el diagrama de ciclos de una realización alternativa de la presente invención que tiene ocho lechos con dos igualaciones de la presión;

la Figura 6 representa el diagrama de ciclos y etapas de un ejemplo de un procedimiento de seis lechos con tres igualaciones de la presión de acuerdo con la presente invención;

25 la Figura 7 muestra una vista esquemática de la unidad VPSA CO₂ para su utilización en el procedimiento de seis lechos de la Figura 6 de acuerdo con la presente invención; y

la Figura 8 muestra el funcionamiento de las válvulas indicadas en el esquema del procedimiento de la Figura 7 de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada

30 Como se comentó anteriormente, la presente invención se refiere, en general, a unos procedimientos de adsorción por oscilación de presión al vacío (VPSA) y a un aparato para recuperar CO₂, con una pureza de aproximadamente $\geq 90\%$ en moles, de corrientes que contienen al menos CO₂ y H₂ (por ejemplo, gas de síntesis). La alimentación a la VPSA CO₂ puede estar a una presión superior a la presión ambiente. La unidad VPSA de CO₂ produce tres corrientes: una corriente enriquecida en H₂, una corriente empobrecida en H₂ y una corriente de CO₂ producto.

35 El dióxido de carbono producido de acuerdo con la presente invención se puede utilizar para cualquier propósito que se desee. Por ejemplo, y aunque no se ha de interpretar como limitativo, el CO₂ producido como se describe en la presente memoria se puede utilizar para producir por licuefacción productos de calidad grado alimentario, CO₂ supercrítico para mejorar la recuperación de petróleo o, simplemente, CO₂ para secuestro para evitar el vertido a la atmósfera de gases adicionales de efecto invernadero con el fin de satisfacer los requisitos reglamentarios.

40 Cuando la unidad VPSA de CO₂ se instala entre un reactor de SMR/desplazamiento y una unidad PSA de H₂, se espera que mediante la extracción de CO₂ aumente la recuperación de H₂, aumentando de ese modo la presión parcial del H₂ en la corriente de alimentación de la PSA de H₂. El CO₂ recuperado se puede adicionalmente mejorar, secuestrar o utilizar en aplicaciones tales como la recuperación mejorada de petróleo (EOR).

45 Como se mencionó anteriormente, los procedimientos y el aparato de VPSA de CO₂ de la presente invención se pueden utilizar para producir CO₂ con una pureza de aproximadamente $\geq 90\%$ en moles a partir de corrientes que contienen al menos CO₂ y H₂ (por ejemplo, gas de síntesis). La alimentación a la VPSA de CO₂ puede estar a una presión superior a la presión ambiente. La unidad VPSA de CO₂ produce tres corrientes: una corriente enriquecida en H₂, una corriente empobrecida en H₂ y una corriente de CO₂ producto.

50 En una realización preferida de la presente invención tal como se representa en la Figura 1, el sistema 10 incluye una unidad VPSA de CO₂ 30 situada aguas arriba de la unidad PSA de H₂ 28. Como se comentó anteriormente, el gas natural 12 y el vapor de agua 14 se pueden reformar en el reformador de metano con vapor de agua 16 para producir la corriente 18, como se muestra en la ecuación (1) anterior. La corriente 18 se alimenta luego al reactor de desplazamiento 20 para producir la corriente 22, como se muestra en la ecuación (2) que también se ha indicado anteriormente. La corriente 22 se puede alimentar a la unidad VPSA de CO₂ 30 por medio de la corriente 24.

Típicamente, por lo tanto, la válvula 26 estará en la posición cerrada, y cambiará a la posición abierta cuando la unidad VPSA de CO₂ no se esté utilizando. Los expertos en la técnica apreciarán que la válvula 26 puede estar, alternativamente, en una posición parcialmente abierta, dependiendo de la capacidad deseada del procedimiento (es decir, de la recuperación de CO₂).

5 Cuando la disposición que se muestra en la Figura 1 se utiliza con los procedimientos y el aparato de acuerdo con la presente invención, se puede producir una corriente rica en CO₂ 36 (por ejemplo, con una pureza $\geq 90\%$ en moles), junto con una alimentación rica en H₂ 32, que se espera que de lugar a una mayor recuperación del H₂ 38 procedente de la unidad PSA de H₂ 28, y una corriente empobrecida en H₂ 34 (corriente de combustible) para su utilización en la planta. La unidad PSA de hidrógeno 28 también puede producir la corriente de combustible 40 para su utilización en la planta 10.

10 La presente invención reconoce que las despresurizaciones de la capa de adsorbente selectivo hacia el CO₂ aumentan la concentración de CO₂ en el(los) lecho(s) de adsorbente. Más específicamente, la presente invención reconoce y utiliza despresurizaciones de los adsorbentes desde una presión alta (por ejemplo, 689,5 a 3.447,4 kPa (100-500 psia)) hasta una(s) presión(es) baja(s) (es decir, unas presiones próximas a la presión ambiente y/o inferiores a la presión ambiente) para aumentar la concentración de CO₂ en los lechos.

15 Tal como se utiliza en la presente memoria, la "corriente de alimentación" que se alimenta a una unidad VPSA de CO₂ de acuerdo con la presente invención, es una corriente que contiene al menos H₂ y CO₂ a una presión entre aproximadamente 689,5 y 3.447,4 kPa (100-500 psia) (por ejemplo, 2.585,5 kPa (375 psia)). Después de que se aumenta la concentración de CO₂ mediante múltiples despresurizaciones, esta corriente se puede utilizar para producir el CO₂ producto mediante una reducción adicional de la presión. Para algunos adsorbentes, la despresurización de alta a baja presión aumenta la concentración de CO₂ en el lecho adsorbente. Como se describe en la técnica anterior, se puede utilizar esta etapa del procedimiento para eliminar varias etapas de tratamiento. En consecuencia, se pueden eliminar varias máquinas rotativas (por ejemplo, el compresor de lavado, el compresor de purga, el compresor de recirculación) y las exigencias de energía asociadas, proporcionando de este modo un procedimiento y un sistema que mejora el funcionamiento y aumenta la eficacia. En una primera realización ilustrativa de la presente invención que se muestra en las Figuras 2-4, la unidad VPSA de CO₂ incluye cinco lechos y utiliza nueve etapas. En un momento dado durante el procedimiento, los lechos estarán en alguna de las siguientes categorías de etapa: alimentación, despresurizaciones, realización de vacío, igualaciones de la presión y represurización. En la Figura 5 se muestra una variación del procedimiento de nueve etapas mostrado en la Figura 2. En la realización que se muestra en la Figura 5, en lugar de cinco lechos se utilizan ocho lechos.

20 En el segundo y alternativo ejemplo de realización de la presente invención que se muestra en las Figuras 6-8, la unidad VPSA de CO₂ incluye seis lechos y utiliza once etapas. En un momento dado durante el procedimiento, los lechos estarán en alguna de las siguientes categorías de etapa: alimentación, despresurizaciones, realización de vacío, igualaciones de la presión y represurización.

25 En cualquiera de las realizaciones, cada lecho se rellena preferiblemente con al menos dos capas de adsorbente. El tipo y el tamaño de la capa de adsorbente en el extremo de la alimentación del lecho (es decir, la capa de adsorbente selectivo hacia el agua), se selecciona para eliminar la humedad de la corriente de alimentación, de tal modo que ninguna humedad residual pueda perjudicar el rendimiento de la capa principal de adsorbente (es decir, la selectiva hacia el CO₂). Preferiblemente, la capa de adsorbente selectiva hacia el agua también es capaz de eliminar impurezas de la corriente de alimentación (por ejemplo, cantidades muy pequeñas de azufre o de compuestos hidrocarbonados pesados), en la medida en que tales impurezas estén presentes. La capa principal segunda de adsorbente (es decir, la capa de adsorbente selectiva hacia el CO₂) se utiliza para adsorber selectivamente el CO₂ de la corriente de alimentación, después de que se ha eliminado la suficiente humedad. Para la capa primera de adsorbente (es decir, la capa de adsorbente selectiva hacia el agua) se prefieren adsorbentes tales como alúmina activada, gel de sílice o un tamiz molecular de zeolita.

30 Estos adsorbentes están destinados a ser ilustrativos, y otros adsorbentes capaces de eliminar suficiente humedad también son adecuados para su utilización de acuerdo con la presente invención. Las características preferidas de tal(es) adsorbente(s) incluyen: capacidades de alta resistencia al aplastamiento, alta resistencia al desgaste por abrasión, gran densidad aparente, bajo número de huecos entre partículas, alta capacidad calorífica, gran conductividad térmica, baja pérdida de carga y estabilidad en agua líquida.

35 La capa principal de adsorbente (es decir, la capa de adsorbente selectiva hacia el CO₂), que está a continuación de la capa de adsorbente selectiva hacia el agua, tiene preferiblemente las siguientes características: alta selectividad, alta capacidad de funcionamiento, cinética rápida y bajo calor de adsorción. Los ejemplos típicos de tales adsorbentes incluyen, pero no se limitan a ellos: NaY, HY, NaX, gel de sílice y carbón activado. Otras propiedades físicas que se desean en los adsorbentes de la capa principal (es decir, la capa selectiva hacia el CO₂) incluyen alta resistencia al aplastamiento, alta resistencia al desgaste, gran densidad aparente, bajo número de huecos entre partículas, alta capacidad de calorífica, gran conductividad térmica y baja pérdida de carga durante las etapas de alimentación y de realización de vacío.

Los expertos en la técnica apreciarán que en la presente invención se puede utilizar una capa mixta de material compuesto que contenga ambos adsorbentes, siempre y cuando se satisfagan las características de los adsorbentes. Con referencia ahora a las Figuras 2-4, se muestra una unidad VPSA de CO₂ que tiene cinco lechos (A1-A5) y que utiliza nueve etapas de tratamiento. Como se muestra, esta realización de la invención emplea dos igualaciones de la presión. Estas etapas de tratamiento incluyen:

1. Etapa de alimentación: La corriente de alimentación 24 (se muestra en la Figura 1) que contiene al menos CO₂ y H₂ gaseosos a una presión alta de entre aproximadamente 689,5 y 3.447,4 kPa (100-500 psia) (por ejemplo, aproximadamente 2.585,5 kPa (375 psia)) y que se produce en el reactor de desplazamiento 20, se desvía a la unidad VPSA de CO₂ de la presente invención. El efluente a alta presión 32 (es decir, la corriente enriquecida en H₂) procedente de la unidad VPSA de CO₂ (unidad 30 en la Figura 1) se envía a la unidad PSA de H₂ 28, que a su vez produce un H₂ producto de alta pureza a alta presión (corriente 38 en la Figura 1). La etapa de alimentación se termina después de un tiempo predeterminado o después de la irrupción en la alimentación 24 del CO₂ procedente del lecho.
2. Despresurización 1 (DP1) en equicorriente (CoC): El lecho de la VPSA de CO₂, que ha terminado la etapa de alimentación y está ahora a la presión alta de la alimentación (por ejemplo, 689,5 a 3.447,4 kPa (100 a 500 psia)), se despresuriza a una presión media (por ejemplo, 551,6 a 2.757,9 kPa (80-400 psia)), en la misma dirección (se muestra en la Figura 2) o en dirección opuesta (no se muestra en la Figura 2) al flujo de alimentación.
3. Despresurización 2 (DP2) en equicorriente (CoC): El lecho de la VPSA de CO₂, que está ahora a una presión media (por ejemplo, 551,6 a 2.757,9 kPa (80-400 psia)), se despresuriza adicionalmente hasta una presión inferior (por ejemplo, 413,7 a 2.068,4 kPa (60-300 psia)), en la misma dirección (se muestra en la Figura 2) o en dirección opuesta (no se muestra en la Figura 2) al flujo de alimentación.
4. Despresurización 3 (combustible) en equicorriente (CoC) o en contracorriente (CcC): El lecho de la VPSA de CO₂, que está ahora a una presión inferior que al inicio de la etapa 3 (DP2), se despresuriza adicionalmente en la misma dirección (se muestra en la Figura 2) o en dirección opuesta (no se muestra en la Figura 2) a la dirección del flujo de alimentación, para producir una corriente empobrecida en H₂. Esta corriente (corriente 34 en la Figura 1) contiene menos H₂ que la corriente 24. La corriente empobrecida en H₂ se mezcla opcional y preferiblemente con la corriente de combustible 40 generada en la unidad PSA de H₂ 28 y se alimenta a los quemadores del SMR (unidad 16). Alternativamente, la corriente 34 se puede enviar a un incinerador o poner en comunicación con la atmósfera, dependiendo de consideraciones reglamentarias y de la utilización deseada. Esta etapa se lleva a cabo a un nivel de presión predeterminado, P*. Para una presión de alimentación de aproximadamente 2.585,5 kPa (375 psia), P* está en el intervalo de aproximadamente 206,8 a 896,3 kPa (30-130 psia) para las realizaciones que se muestran en las Figuras 2-5. Conforme se reduce P*, aumenta la pureza del CO₂ en el producto y disminuye la recuperación del CO₂ procedente del procedimiento (que se utiliza como corriente 34). Por consiguiente, en el procedimiento de VPSA de CO₂, P* se puede determinar y diseñar en base a la demanda y a las necesidades del cliente.
5. Purga (PG): El lecho de la VPSA de CO₂, que está al nivel de presión predeterminado (P*), se despresuriza ahora a una presión próxima a la presión ambiente (por ejemplo, aproximadamente 137,9 kPa (20 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 2) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 2) al flujo de alimentación, para producir el CO₂ producto 36b que se muestra en la Figura 3. Esta corriente puede constituir parte del CO₂ producto (corriente 36 en la Figura 3).
6. Realización de vacío (RV): En el lecho de la VPSA de CO₂, que está a una presión próxima a la presión ambiente (por ejemplo, aproximadamente 137,9 kPa (20 psia)), se hace el vacío utilizando la bomba de vacío 44 a una presión baja predeterminada (es decir, una presión inferior a la presión ambiente, por ejemplo aproximadamente 6,9 a 82,7 kPa (1-12 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 2) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 2) al flujo de alimentación. Esta corriente (corriente 36a en la Figura 3) constituye parte del CO₂ producto (corriente 36 en las Figuras). Opcionalmente, la corriente 36a se puede comprimir adicionalmente utilizando una soplante (no se muestra) antes de pasar al tanque 42.
7. Igualación de la presión 2 (PE2) en contracorriente (CcC): La presión del lecho en el que se ha hecho el vacío se iguala ahora al intervalo de presión del gas producido en la etapa 3 (DP2) (413,7 a 2.068,4 kPa (60-300 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 2) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 2) al flujo de alimentación. Esta etapa aumenta la recuperación de CO₂ al mantener dentro del sistema de VPSA el CO₂ procedente de la etapa 3. Esto minimiza la pérdida de CO₂ por la eliminación de la necesidad de enviar el CO₂ a una corriente de desechos o a la corriente de combustible 34.
8. Igualación de la presión 1 (PE1) en contracorriente (CcC): La presión del lecho, cuya presión se ha igualado en la etapa 7, se iguala adicionalmente al intervalo de presión del gas producido en la etapa 2 (DP1) (551,6 a 2.757,9 kPa (80-400 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 2) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 2) al flujo de alimentación. Esta etapa aumenta adicionalmente la recuperación de CO₂ al mantener dentro del sistema de VPSA el CO₂ procedente de la etapa 2. Esto minimiza la pérdida de CO₂ por la eliminación de la necesidad de enviar el CO₂ a una corriente de desechos o a la corriente de combustible 34.

9. Represurización (RP): El lecho cuya presión se ha igualado, se represuriza a la presión de la alimentación (689,5 a 3.447,4 kPa (100-500 psia)), bien mediante el gas de alimentación o bien mediante una parte del efluente generado en otro lecho en la etapa 1 (es decir, el efluente de alimentación). Después de la represurización hasta la presión de la alimentación, este lecho está preparado ahora para volver a la etapa 1.

Como se muestra adicionalmente en la Figura 3, el CO₂ producto 36 está formado por el CO₂ procedente de las corrientes 36a (etapa 6) y 36b (etapa 5) que alimentan el tanque de producto 42. Se espera que el CO₂ producto 36 tenga un nivel de pureza de aproximadamente 90% en moles o mayor.

El procedimiento de nueve etapas que se describe se refiere a un ciclo de un lecho de la unidad VPSA de CO₂. En esta realización, las nueve etapas se llevan a cabo de manera cíclica con los otros lechos de la unidad VPSA de CO₂, de tal modo que la entrada de alimentación y el efluente de alimentación procedente de la etapa 1 sean continuos. Además, la etapa de realización de vacío es continua. Esto asegura que la bomba de vacío funcione en continuo y que no haya Interrupción de la alimentación a la VPSA de CO₂ o a las unidades PSA de H₂.

En la realización descrita anteriormente, para mantener la continuidad de las etapas clave del procedimiento, se prefieren cinco lechos de adsorción. Como se ha descrito, esto se puede conseguir mediante la configuración del procedimiento, como se representa en el diagrama de ciclos de la Figura 2. En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo esquemático correspondiente. Las diversas válvulas de la Figura 3 pueden funcionar de la manera representada en la Figura 4 para llevar a cabo las nueve etapas del procedimiento de cinco lechos descrito anteriormente. Con fines de ilustración, y sin que hayan de interpretarse como limitativas, en las columnas situadas más a la izquierda de la Figura 4 se enumeran las duraciones típicas de las etapas. Los expertos en la técnica apreciarán que tales duraciones de las etapas se proporcionan sólo a título de ejemplo y con fines de ilustración.

Cuando el caudal de alimentación es grande, se puede modificar la disposición que se muestra en las Figuras 2-4 para utilizar dos trenes de cinco lechos, duplicando de este modo la capacidad de producción de la unidad VPSA de CO₂. En la Figura 5 se muestra una alternativa a la disposición de dos trenes de cinco lechos para tales caudales. La variación que se muestra en la Figura 5 es también un procedimiento de nueve etapas con dos igualaciones de la presión como se describió anteriormente. Sin embargo, en esta realización se utiliza un tren de ocho lechos (A1-A8). Además, y como se muestra en la Figura 5, dos lechos están continuamente en la etapa de alimentación y al menos dos lechos se encuentran continuamente en la etapa de realización de vacío.

En las Figuras 6-8 se representa una realización alternativa y preferida de la presente Invención. Esta realización permite una mayor recuperación de CO₂. La disposición que se muestra en las Figuras 6-8 utiliza un tren de seis lechos en la unidad VPSA de CO₂. En esta realización, hay once etapas de tratamiento y tres igualaciones de la presión.

Como se muestra en la Figura 6, las etapas DP3 y PE3 son unas etapas adicionales con respecto a la realización que se muestra en las Figuras 2-4. Para la realización que se muestra en las Figuras 6-8, un ciclo de tratamiento es el siguiente:

1. Etapa de alimentación: La corriente de alimentación 24 (se muestra en la Figura 1) que contiene al menos CO₂ y H₂ gaseosos a una presión alta de entre aproximadamente 689,5 y 3.447,4 kPa (100-500 psia) (por ejemplo, aproximadamente 2.585,5 (375 psia)) y que se produce en el reactor de desplazamiento 20, se desvía a la unidad VPSA de CO₂ de la presente invención. El efluente a alta presión 32 (es decir, la corriente enriquecida en H₂) procedente de la unidad VPSA de CO₂ (unidad 30 en la Figura 1) se envía a la unidad PSA de H₂ 28, que a su vez produce un H₂ producto de alta pureza a alta presión (corriente 38 en la Figura 1). La etapa de alimentación se termina después de un tiempo predeterminado o después de la irrupción en la alimentación 24 del CO₂ procedente del lecho.

2. Despresurización 1 (DP1) en equicorriente (CoC): El lecho de la VPSA de CO₂, que ha terminado la etapa de alimentación y está ahora a la presión alta de la alimentación (por ejemplo, 689,5 a 3.447,4 kPa (100 a 500 psia)), se despresuriza a una presión media (por ejemplo, 551,6 a 2.757,9 kPa (80-400 psia)), en la misma dirección (se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (no se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación.

3. Despresurización 2 (DP2) en equicorriente (CoC): El lecho de la VPSA de CO₂, que está ahora a una presión media (por ejemplo, 551,6 a 2.757,9 kPa (80-400 psia)), se despresuriza adicionalmente hasta una presión inferior (por ejemplo, 413,7 a 2.068,4 kPa (60-300 psia)), en la misma dirección (se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (no se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación.

4. Despresurización 3 (DP3) en equicorriente (CoC): El lecho de la VPSA de CO₂, que está ahora a una presión media (por ejemplo, 413,7 a 2.068,4 kPa (60-300 psia)), se despresuriza adicionalmente hasta una presión inferior (por ejemplo, 344,7 a 1.378,9 kPa (50-200 psia)), en la misma dirección (se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (no se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación.

5. Despresurización 4 (combustible) en equicorriente (CoC) o en contracorriente (CcC): El lecho de la VPSA de CO₂, que está ahora a una presión inferior que al inicio de la etapa 4 (DP3), se despresuriza adicionalmente en la misma dirección (se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (no se muestra en la Figura 6) a la dirección del flujo de alimentación, para producir una corriente empobrecida en H₂. Esta corriente (corriente 34 en la Figura 1) contiene menos H₂ que la corriente 24. La corriente empobrecida en H₂ se mezcla opcional y preferiblemente con la corriente de combustible 40 generada en la unidad PSA de H₂ 28 y se alimenta a los quemadores del SMR (unidad 16). Alternativamente, la corriente 34 se puede enviar a un incinerador o poner en comunicación con la atmósfera, dependiendo de consideraciones reglamentarias y de la utilización deseada. Esta etapa se lleva a cabo a un nivel de presión predeterminado, P*. Para una presión de alimentación de aproximadamente 2.585,5 kPa (375 psia), P* está en el intervalo de aproximadamente 206,8 a 689,5 kPa (30-100 psia) para la realización que se muestra en las Figuras 6-8. Conforme se reduce P*, aumenta la pureza del CO₂ en el producto y disminuye la recuperación del CO₂ procedente del procedimiento (que se utiliza como corriente 34). Por consiguiente, en el procedimiento de VPSA de CO₂, P* se puede determinar y diseñar en base a la demanda y a las necesidades del cliente.

6. Purga (PG): El lecho de la VPSA de CO₂, que está al nivel de presión predeterminado (P*), se despresuriza ahora a una presión próxima a la presión ambiente (por ejemplo, aproximadamente 137,9 kPa (20 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación, para producir el CO₂ producto 36b que se muestra en la Figura 7. Esta corriente puede constituir parte del CO₂ producto (corriente 36 en la Figura 7).

7. Realización de vacío (RV): En el lecho de la VPSA de CO₂, que está a una presión próxima a la presión ambiente (por ejemplo, aproximadamente 137,9 kPa (20 psia)), se hace el vacío utilizando la bomba de vacío 44 a una presión baja predeterminada (es decir, una presión inferior a la presión ambiente, por ejemplo aproximadamente 6,9 a 82,7 kPa (1-12 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación. Esta corriente (corriente 36a en la Figura 7) constituye parte del CO₂ producto (corriente 36 en las Figuras). Opcionalmente, la corriente 36a se puede comprimir adicionalmente utilizando una soplante (no se muestra) antes de pasar al tanque 42.

8. Igualación de la presión 3 (PE3) en contracorriente (CcC): La presión del lecho en el que se ha hecho el vacío se iguala ahora al intervalo de presión del gas producido en la etapa 4 (DP3) (344,7 a 1.378,9 kPa (50-200 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación. Esta etapa aumenta la recuperación de CO₂ al mantener dentro del sistema de VPSA el CO₂ procedente de la etapa 4. Esto minimiza la pérdida de CO₂ por la eliminación de la necesidad de enviar el CO₂ a una corriente de desechos o a la corriente de combustible 34.

9. Igualación de la presión 2 (PE2) en contracorriente (CcC): La presión del lecho, cuya presión se ha igualado en la etapa 8, se iguala ahora al intervalo de presión del gas producido en la etapa 3 (DP2) (413,7 a 2.068,4 kPa (60-300 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación. Esta etapa aumenta la recuperación de CO₂ al mantener dentro del sistema de VPSA el CO₂ procedente de la etapa 3. Esto minimiza la pérdida de CO₂ por la eliminación de la necesidad de enviar el CO₂ a una corriente de desechos o a la corriente de combustible 34.

10. Igualación de la presión 1 (PE1) en contracorriente (CcC): La presión del lecho cuya presión se ha igualado en etapa 9, se iguala adicionalmente al intervalo de presión del gas producido en la etapa 2 (DP1) (551,6 a 2.757,9 kPa (80-400 psia)), en la misma dirección (no se muestra en la Figura 6) o en dirección opuesta (se muestra en la Figura 6) al flujo de alimentación. Esta etapa aumenta adicionalmente la recuperación de CO₂ al mantener dentro del sistema de VPSA el CO₂ procedente de la etapa 2. Esto minimiza la pérdida de CO₂ por la eliminación de la necesidad de enviar el CO₂ a una corriente de desechos o a la corriente de combustible 34.

11. Represurización (RP): El lecho cuya presión se ha igualado, se represuriza a la presión de la alimentación (689,5 a 3.447,4 kPa (100-500 psia)), bien mediante el gas de alimentación o bien mediante una parte del efluente generado en otro lecho en la etapa 1 (es decir, el efluente de alimentación). Después de la represurización hasta la presión de la alimentación, este lecho está preparado ahora para volver a la etapa 1.

Como se muestra adicionalmente en la Figura 7, el CO₂ producto 36 está formado por el CO₂ procedente de las corrientes 36b (etapa 6) y 36a (etapa 7) que alimentan el tanque de producto 42. Se espera que el CO₂ producto 36 tenga un nivel de pureza de aproximadamente 90% en moles o mayor.

El procedimiento de once etapas que se describe se refiere a un ciclo de un lecho de la unidad VPSA de CO₂. En esta realización, las once etapas se llevan a cabo de manera cíclica con los otros lechos de la unidad VPSA de CO₂ de tal modo que la entrada de alimentación y el efluente de alimentación procedente de la etapa 1 sean continuos. Además, la etapa de realización de vacío es continua. Esto asegura que la bomba de vacío funcione en continuo y que no haya interrupción de la alimentación a la VPSA de CO₂ o a las unidades PSA de H₂.

En la realización descrita anteriormente en las Figuras 6-8, para mantener la continuidad de las etapas clave del procedimiento, se prefieren seis lechos de adsorción. Como se ha descrito, esto se puede conseguir mediante la

configuración del procedimiento, como se representa en el diagrama de ciclos de la Figura 6. En la Figura 7 se muestra el diagrama de flujo esquemático correspondiente. Las diversas válvulas de la Figura 7 pueden funcionar de la manera representada en la Figura 8 para llevar a cabo las once etapas del procedimiento de seis lechos descrito anteriormente. Con fines de ilustración, y sin que hayan de interpretarse como limitativas, en las columnas situadas más a la izquierda de la Figura 8 se enumeran las duraciones típicas de las etapas. Los expertos en la técnica apreciarán que tales duraciones de las etapas se proporcionan sólo a título de ejemplo y con fines de ilustración.

Ejemplo

En una unidad a escala reducida de un solo lecho se ensayó el ciclo del procedimiento de nueve etapas de la Figura 2 descrito anteriormente, que se espera que sea fácilmente extrapolable para un sistema de cinco lechos. El diámetro interior (ID) de la columna era 1,73 cm (0,68 inches) y la altura del relleno del lecho era 1,52 m (5 feet). La columna se relleno con aproximadamente 0,227 kg (0,5 lb) de nódulos de NaY de 1,6 mm (1/16 inch) disponibles comercialmente. La alimentación contenía 74% en moles de helio (para simular, por razones de seguridad, el H₂), 16% en moles de CO₂ y 10% en moles de CH₄ (para simular la mezcla CH₄+CO+N₂). La alimentación estaba a aproximadamente 2.578,6 kPa (374 psia).

El procedimiento se llevó a cabo de manera cíclica hasta que se alcanzó el estado cíclico estacionario. El lecho se despresurizó a aproximadamente 137,9 kPa (20 psia). A continuación de esto, se hizo el vacío a aproximadamente 27,6 kPa (4 psia). Se midió la cantidad y la concentración del gas despresurizado y sometido a vacío. Mediante la elección de una presión para el final de la cuarta etapa (P*) de aproximadamente 275,8 kPa (40 psia), el CO₂ total producido en las etapas cinco y seis fue aproximadamente 2,2 mmol/kg (1 mmol/lb), con una pureza de aproximadamente 93% de CO₂ y una recuperación de aproximadamente 75%.

Al operar la misma unidad de un solo lecho en un procedimiento de once etapas (incluidas tres igualaciones de la presión como se muestra en la Figura 6), como se ha descrito anteriormente con referencia a la disposición de seis lechos, la recuperación de CO₂ aumentó hasta alrededor del 77% (con una pureza de aproximadamente 93%). Se espera que tales resultados sean fácilmente extrapolables para un sistema de seis lechos.

Se espera que la presente invención se pueda modificar para producir cantidades mayores de CO₂. Por ejemplo, se puede necesitar o desear tratar mayores caudales de alimentación que se puedan manejar con un solo tren a vacío o un solo recipiente (debido a limitaciones en la fluidización o en el transporte). En tales situaciones, las nueve etapas del procedimiento pueden estar dispuestas de tal modo que en todo momento esté más de un lecho en fase de alimentación y/o que en todo momento se esté haciendo el vacío en más de un lecho. Como se comentó anteriormente, en la Figura 5 se muestra un ejemplo de una disposición semejante para un procedimiento con dos igualaciones de la presión.

Los procedimientos descritos en esta memoria pueden funcionar a presiones de alimentación superiores a 689,5 kPa (100 psia), y más preferiblemente mayores de 2.068,4 kPa (300 psia) (por ejemplo, aproximadamente 2.585,5 kPa (375 psia)). La concentración del dióxido de carbono en el gas de alimentación es preferiblemente superior a 10% en moles, y lo más preferiblemente mayor que 15% en moles (por ejemplo, 15-25% en moles). La temperatura de la alimentación puede estar entre aproximadamente 4,4 y 93,3°C (40-200°F), más preferiblemente entre aproximadamente 15,6 y 65,6°C (60-150°F), y lo más preferiblemente es aproximadamente 37,8°C (100°F).

En las realizaciones alternativas de la presente invención, en lugar de algunos de los lechos de adsorbente del ciclo del procedimiento se pueden añadir unos tanques de almacenamiento para almacenar algunas de las corrientes gaseosas intermedias, tales como el gas despresurizado. El propósito de estos tanques de almacenamiento es mantener en forma continua el flujo de entrada y salida de la unidad VPSA de CO₂.

La presente invención proporciona, de este modo, unos procedimientos de adsorción por oscilación de presión al vacío (VPSA) y un aparato para recuperar CO₂, con una pureza de aproximadamente ≥90% en moles, de corrientes que contienen al menos CO₂ y H₂ (por ejemplo, gas de síntesis). De acuerdo con las realizaciones preferidas de la presente invención, hay una alimentación constante, se produce un producto constante y preferiblemente la maquinaria rotativa se hace funcionar en continuo a fin de eliminar el(los) tanque(s) innecesario(s). Sin embargo, si hubiera razones para limitar el número de lechos de adsorbente (por ejemplo, por el alto coste del adsorbente), se pueden utilizar tanques de almacenamiento en lugar de recipientes de adsorbente, como se explicó anteriormente. Aunque cada uno de los lechos de un determinado ciclo del procedimiento atraviesa por los mismos ciclos, el número de lechos se ha de minimizar teniendo en cuenta estos factores.

La alimentación a la unidad VPSA de CO₂ puede estar a una presión superior a la presión ambiente, y el CO₂ producto se puede producir en dos corrientes como se describió anteriormente. Cuando la unidad VPSA CO₂ se instala aguas arriba de una unidad PSA de H₂, se espera que mediante la extracción del CO₂ aumente la recuperación del H₂, aumentando de ese modo la presión parcial del H₂ en la corriente de alimentación a la PSA de H₂. El CO₂ recuperado se puede utilizar tal como se produce o mejorar adicionalmente, tal como se muestra en la patente de EE.UU. de propiedad común 7.871.457, presentada en la misma fecha que la presente y titulada "Carbon Dioxide Production Method" por Shah et al. El CO₂ recuperado luego se puede utilizar, secuestrar o utilizar en aplicaciones tales como la recuperación mejorada de petróleo (EOR).

5 Los expertos en la técnica apreciarán que la presente invención no se limita a las realizaciones en donde la unidad VPSA de CO₂ está situada aguas abajo de un reactor de SMR/desplazamiento y aguas arriba de una unidad PSA de H₂. La presente invención también se puede utilizar, por ejemplo, con un reactor de oxidación parcial junto con una corriente de alimentación cualquiera como se definió anteriormente en esta memoria. También apreciarán que, en algunos casos, se pueden eliminar las etapas de igualación de la presión. Esto puede reducir la recuperación de H₂ y/o CO₂ ya que en la corriente 34 podría estar presente más H₂ y/o CO₂. En tales casos, se puede reducir el número de lechos.

10 Los expertos en la técnica deben apreciar que las realizaciones específicas descritas anteriormente se pueden utilizar fácilmente como base para modificar o diseñar otras estructuras para llevar a cabo los mismos fines de la presente invención. Los expertos en la técnica también deben tener en cuenta que tales construcciones equivalentes no se apartan del alcance de la invención, como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un procedimiento de adsorción por oscilación de presión al vacío (VPSA) para la recuperación de CO₂ de una mezcla de gases de varios componentes que contiene al menos CO₂ y H₂, en una unidad VPSA que contiene al menos un lecho de adsorción que contiene al menos un adsorbente selectivo hacia el CO₂, procedimiento que comprende;
- 5 alimentar a el al menos un lecho de adsorción la mezcla de gases de varios componentes que contiene al menos CO₂ y H₂, a una primera presión dentro de un primer intervalo de presión durante un tiempo predeterminado, para producir una corriente enriquecida en H₂;
- 10 despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una primera etapa de despresurización, desde el primer intervalo de presión hasta una segunda presión dentro de un segundo intervalo de presión, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación;
- despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una segunda etapa de despresurización, desde el segundo intervalo de presión hasta una tercera presión dentro de un tercer intervalo de presión inferior al segundo intervalo de presión y en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación;
- 15 despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una tercera etapa de despresurización, desde el tercer intervalo de presión hasta un intervalo de presión predeterminado (P*), en la misma dirección que el flujo de alimentación o en dirección opuesta al flujo de alimentación, para producir una corriente empobrecida en H₂;
- despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una etapa de purga (PG), desde el intervalo de presión P* hasta una presión próxima a la presión ambiente, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación, para producir al menos una primera porción de CO₂ producto;
- 20 hacer el vacío en el al menos un lecho de adsorción desde la presión próxima a la presión ambiente hasta una presión por debajo de la presión ambiente, en dirección opuesta o en la misma dirección que el flujo de alimentación, para producir al menos una segunda porción de CO₂ producto;
- 25 igualar la presión del al menos un lecho de adsorción, en una primera etapa de igualación de la presión, en dirección opuesta o en la misma dirección que el flujo de alimentación;
- adicionalmente, igualar la presión del al menos un lecho de adsorción, en una segunda etapa de igualación de la presión, en dirección opuesta o en la misma dirección que el flujo de alimentación; y
- represurizar el al menos un lecho de adsorción hasta el primer intervalo de presión, en una etapa de represurización (RP);
- 30 en donde el procedimiento se repite cíclicamente.
- 2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde el al menos un lecho de adsorción comprende cinco lechos.
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde el al menos un lecho de adsorción comprende ocho lechos.
- 4.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde el intervalo de presión para la presión por debajo de la presión ambiente es 6,9 a 82,7 kPa (1-12 psia).
- 35 5.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende:
- alimentar a el al menos un lecho de adsorción la mezcla de gases de varios componentes que contiene al menos CO₂ y H₂, a una primera presión dentro de un primer intervalo de presión durante un tiempo predeterminado, para producir una corriente enriquecida en H₂;
- 40 despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una primera etapa de despresurización, desde el primer intervalo de presión hasta una segunda presión dentro de un segundo intervalo de presión, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación;
- despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una segunda etapa de despresurización, desde el segundo intervalo de presión hasta una tercera presión dentro de un tercer intervalo de presión inferior al segundo intervalo de presión y en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación;
- 45 despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una tercera etapa de despresurización, desde el tercer intervalo de presión hasta una cuarta presión dentro de un cuarto intervalo de presión inferior al tercer intervalo de presión y en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación;
- despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una cuarta etapa de despresurización, desde el cuarto intervalo de presión hasta un intervalo de presión predeterminado P*, en la misma dirección que el flujo de alimentación o en dirección opuesta al flujo de alimentación, para producir una corriente empobrecida en H₂;
- 50

- despresurizar el al menos un lecho de adsorción, en una etapa de purga (PG), desde el intervalo de presión P^* hasta una presión próxima a la presión ambiente, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación, para producir al menos una primera porción de CO_2 producto;
- 5 hacer el vacío en el al menos un lecho de adsorción desde la presión próxima a la presión ambiente hasta una presión por debajo de la presión ambiente, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación, para producir al menos una segunda porción de CO_2 producto;
- igualar la presión del al menos un lecho de adsorción, en una primera etapa de igualación de la presión, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación;
- 10 adicionalmente, igualar la presión del al menos un lecho de adsorción, en una segunda etapa de igualación de la presión, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación;
- adicionalmente, igualar la presión del al menos un lecho de adsorción, en una tercera etapa de igualación de la presión, en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo de alimentación; y
- represurizar el al menos un lecho de adsorción hasta el primer intervalo de presión, en una etapa de represurización (RP);
- 15 en donde el procedimiento se repite cíclicamente.
- 6.- El procedimiento de la reivindicación 5, en donde el al menos un lecho de adsorción comprende seis lechos.
- 7.- El procedimiento de la reivindicación 1 ó 5, en donde el primer intervalo de presión es 689,5 a 3.447,4 kPa (100-500 psia).
- 20 8.- El procedimiento de la reivindicación 1 ó 5, en donde el segundo intervalo de presión es 551,6 a 2.757,9 kPa (80-400 psia).
- 9.- El procedimiento de la reivindicación 1 ó 5, en donde el tercer intervalo de presión es 413,7 a 2.068,4 kPa (60-300 psia).
- 10.- El procedimiento de la reivindicación 5, en donde el cuarto intervalo de presión es 344,7 a 1.378,9 kPa (50-200 psia).
- 25 11.- El procedimiento de la reivindicación 5, en donde el intervalo de presión para la presión a, o por debajo de, la presión ambiente es 6,9 a 82,7 kPa (1-12 psia).
- 12.- El procedimiento de la reivindicación 1 ó 5, en donde la corriente enriquecida en H_2 se alimenta a una unidad de adsorción por oscilación de presión (PSA) de H_2 .

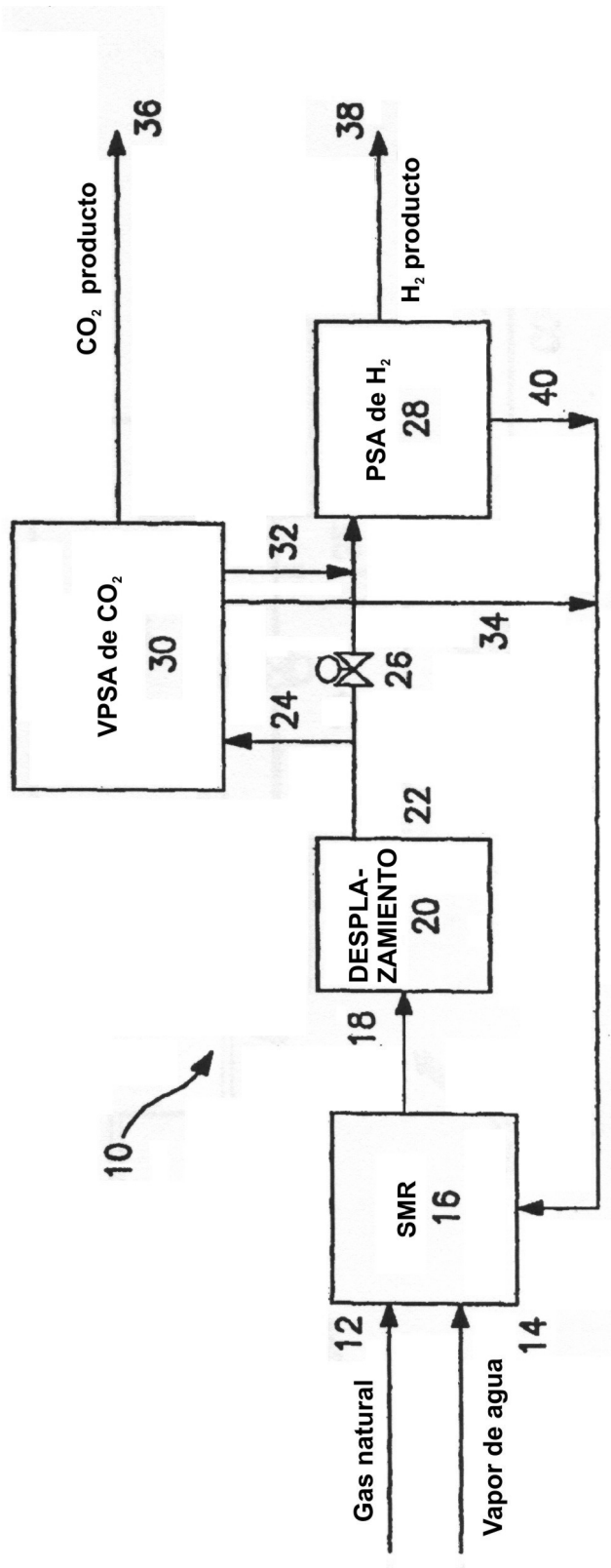


FIG. 1

VPSA de CO₂ – 5 lechos, 2 igualaciones de la presión

A1	ALIMENT.	DP1	DP2	Comb.	PG	RV		PE2	PE1	FeRP
A2	PE1	FeRP	ALIMENT.	DP1	PG	DP2	Comb.	PG	RV	PE2
A3	RV	PE2	PE1	FeRP	ALIMENT.	DP1	DP2	Comb.	PG	RV
A4	Comb.	PG	RV	PE2	PE1	FeRP	ALIMENT.	DP1	DP2	DP2
A5	DP1	DP2	Comb.	PG	RV	PE2	PE1	FeRP	ALIMENT.	

Aliment.
DP1
DP2
Comb.
PG
RV
PE2
PE1
FeRP

Alimentación a la VPSA de CO₂ → Producto como alimentación a la PSA de H₂
 DP1 CoC a PE1 con un lecho A
 DP2 CoC a PE2 con otro lecho A
 DP CoC al tanque de combustible de la PSA de H₂ y aumento de la concentración de CO₂ en el lecho
 DP CcC para recoger un CO₂ producto puro de la zona inferior
 Realización de vacío CcC para recoger un CO₂ producto en el mismo tanque de compensación que en la etapa DP CcC
 PE2 CcC con un lecho A en DP2 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂
 PE2 CcC con un lecho A en DP1 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂
 RP CcC mediante el efluente de alimentación

FIG. 2

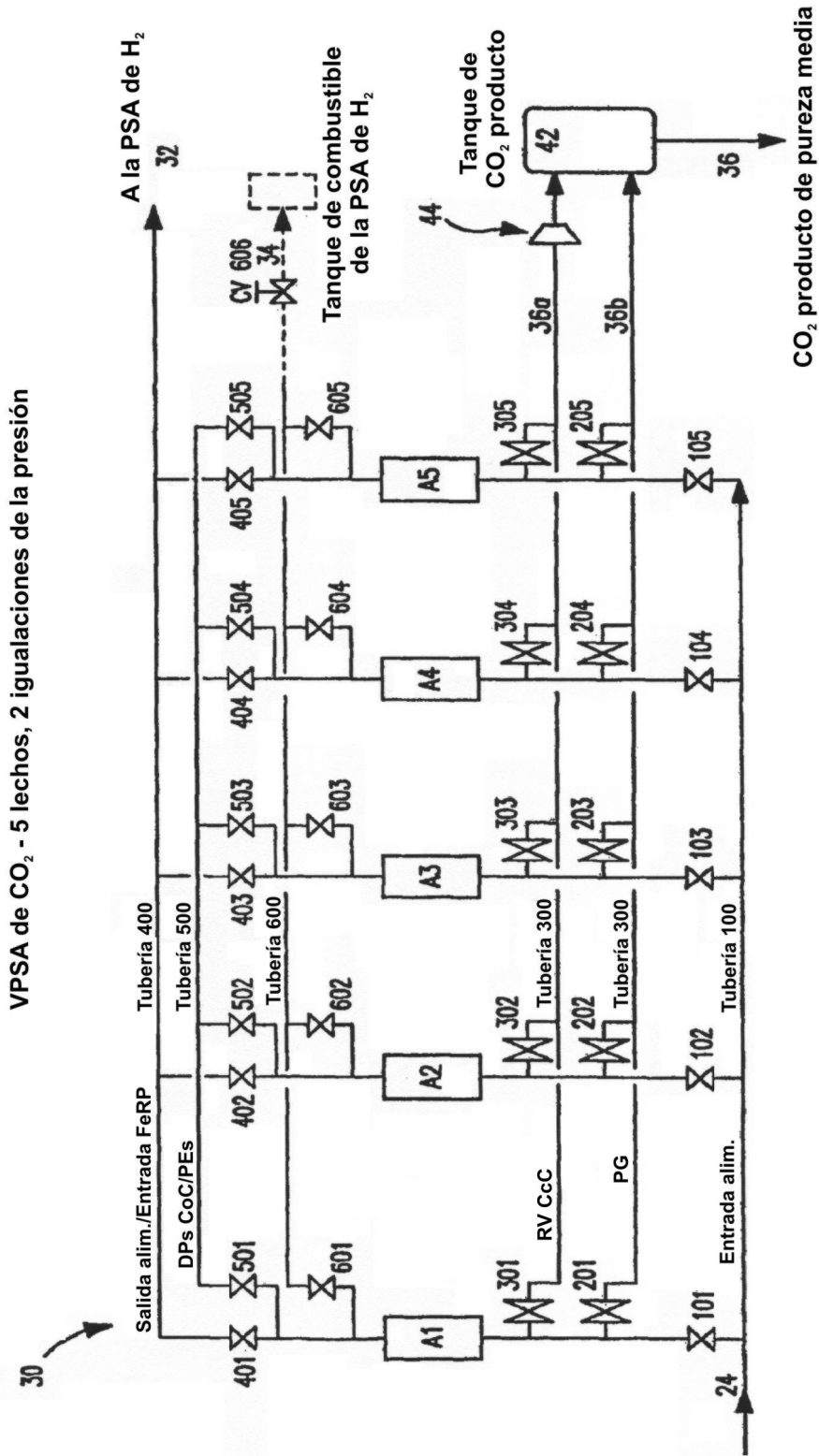


FIG. 3

Secuencia de las válvulas
VPSA de CO₂ – 5 lechos, 2 igualaciones de la presión

Nº de etapa	Tiempo. (s)		LECHO					Entrada de alimentac.	Salida de alim./FeRP	PG	RV	DP en CoC/PE	Combust.
	Desde	A	A1	A2	A3	A4	A5						
		Duración	Alim.	PE1	RV	Comb.	DP1						
1	0	30	Alim.	PE1	RV	Comb.	DP1	0	405	205	305	505	605
2	30	60	Alim.	PE1	RV	PG	DP1	0	404	204	304	504	604
3	60	90	Alim.	FeRP	PE2	RV	DP2	0	403	203	303	503	603
4	90	120	Alim.	FeRP	PE2	RV	DP2	0	402	202	302	502	602
5	120	150	DP1	Alim.	PE1	RV	Comb.	0	401	201	301	501	601
6	150	180	DP1	Alim.	PE1	RV	PG	0	404	204	304	504	604
7	180	210	DP2	Alim.	FeRP	PE2	RV	0	403	203	303	503	603
8	210	240	DP2	Alim.	FeRP	PE2	RV	0	402	202	302	502	602
9	240	270	Comb.	DP1	Alim.	PE1	RV	0	401	201	301	501	601
10	270	300	PG	DP1	Alim.	PE1	RV	0	404	204	304	504	604
11	300	330	RV	DP2	Alim.	FeRP	PE2	0	403	203	303	503	603
12	330	360	RV	DP2	Alim.	FeRP	PE2	0	402	202	302	502	602
13	360	390	RV	Comb.	DP1	Alim.	PE1	0	401	201	301	501	601
14	390	420	RV	PG	DP1	Alim.	PE1	0	404	204	304	504	604
15	420	450	PE2	RV	DP2	Alim.	FeRP	0	403	203	303	503	603
16	450	480	PE2	RV	DP2	Alim.	FeRP	0	402	202	302	502	602
17	480	510	PE1	RV	Comb.	DP1	Alim.	0	401	201	301	501	601
18	510	540	PE1	RV	PG	DP1	Alim.	0	404	204	304	504	604
19	540	570	FeRP	PE2	RV	DP2	Alim.	0	403	203	303	503	603
20	570	600	FeRP	PE2	RV	DP2	Alim.	0	402	202	302	502	602

Aliment.
DP1
DP2
Comb.
PG
RV
PE2
PE1
FeRP

Alimentación a la VPSA de CO₂ → Producto como alimentación a la PSA de H₂

DP1 CoC a PE1 con un lecho A

DP2 CoC a PE2 con otro lecho A

DP CoC al tanque de combustible de la PSA de H₂ y aumento de la concentración de CO₂ en el lecho

DP CcC para recoger un CO₂ producto puro de la zona inferior

Realización de vacío CcC para recoger un CO₂ producido en el mismo tanque de compensación que en la etapa PG

PE2 CcC con un lecho A en DP2 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂

PE2 CcC con un lecho A en DP1 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂

Represurización CoC mediante la alimentación de la RP CcC mediante el efuente de alimentación

"En blanco" Válvula cerrada

0 Válvula completamente abierta

θ Válvula con posicionador

FIG. 4

VPSA de CO₂ – 8 lechos, 2 igualaciones de la presión y mezcla directa
 – 2 lechos en alimentación, 3 lechos en realización de vacío

A1	ALIMENT.		DP1	DP2	Comb.	PG	RV		PE2	PE1	RP
A2	PE1	RP	ALIMENT.		DP1	DP2	Comb.	PG	RV		
A3	RV	PE2	PE1	RP	ALIMENT.		DP1	DP2	Comb.	PG	RV
A4	RV		PE2	PE1	RP	ALIMENTACIÓN		DP1	DP2	Comb.	PG
A5	RV		PE2	PE1	RP	ALIMENT.		DP1	DP2	Comb.	PG
A6	Comb.	PG	RV		PE2	PE1	RP	ALIMENT.		DP1	DP2
A7	DP1	DP2	Comb.	PG	RV		PE2	PE1	RP	ALIMENT.	
A8	ALIMENT.		DP1	DP2	Comb.	PG	RV		PE2	PE1	RP
											ALIMENT.

Aliment.
DP1
DP2
Comb.
PG
RV
PE2
PE1
FeRP

Alimentación a la VPSA de CO₂ → Producto como alimentación a la PSA de H₂
 DP1 CoC a PE1 con un lecho A
 DP2 CoC a PE2 con otro lecho A
 DP CoC al tanque de combustible de la PSA de H₂ y aumento de la concentración de CO₂ en el lecho
 DP CoC para recoger un CO₂ producto puro de la zona inferior
 Realización de vacío CoC para recoger un CO₂ producto en el mismo tanque de compensación que la etapa DP CoC
 PE2 CoC con un lecho A en DP2 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂
 PE1 CoC con un lecho A en DP1 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂
 Represurización CoC mediante la alimentación de la RP CoC mediante el efluente de alimentación

FIG. 5

VPSA de CO₂ – 6 lechos, 3 igualaciones de la presión y mezcla directa

A1	Aliment.	DP1	DP2	DP3	Comb.	PG	RV		PE3	PE2	PE1	FeRP	
A2	FeRP	Aliment.		DP1	DP2	PG	DP3	Comb.	RV		PE3	PE2	
A3	PE2	PE1	FeRP	Aliment.			DP1	DP2	DP3	Comb.	RV		
A4	RV	PE3	PE2	PE1	FeRP	Aliment.			DP1	DP2	DP3	Comb.	PG
A5	Comb.	PG	RV		PE3	PE2	PE1	FeRP	Aliment.				
A6	DP2	DP3	Comb.	PG	RV		PE3	PE2	PE1	FeRP	Aliment.		

	Típico	Inicio	Final
		kPa (psia)	
Alimentación a la VPSA de CO ₂ → Producto como alimentación a la PSA de H ₂	t (alim.) =	2.585,5 (375)	2.585,5 (375)
DP1 CoC a PE1 con un lecho A	t (DP1) =	2.585,5 (375)	1.944,3 (282)
DP2 CoC a PE2 con otro lecho A	T (DP2) =	1.944,3 (282)	1.310,0 (190)
DP3 CoC a PE3 con otro lecho A	t (DP3) =	1.310,0 (190)	668,8 (97)
DP CoC para combustible	t (DP CcC) =	667,4 (96,8)	275,8 (40)
DP CcC para recoger un CO ₂ producto puro de la zona inferior	t (DP CcC) =	275,8 (40)	103,4 (15)
Real. vacío CcC para recoger CO ₂ producto en mismo tanque comp. que etapa DP CcC	t (RV) =	275,8 (40)	27,6 (4)
PE3 CcC con un lecho A en DP3 para aumentar la recuperación de H ₂ /CO ₂	t (PE3) =	27,6 (4)	668,8 (97)
PE2 CcC con un lecho A en DP2 para aumentar la recuperación de H ₂ /CO ₂	t (PE2) =	668,8 (97)	1.310,0 (190)
PE1 CcC con un lecho A en DP1 para aumentar la recuperación de H ₂ /CO ₂	t (PE1) =	1.310,0 (190)	1.944,3 (282)
RP CcC mediante el efluente de alimentación	t (RP) =	1.944,3 (282)	2.585,5 (375)
	=====		
	12 min		

FIG. 6

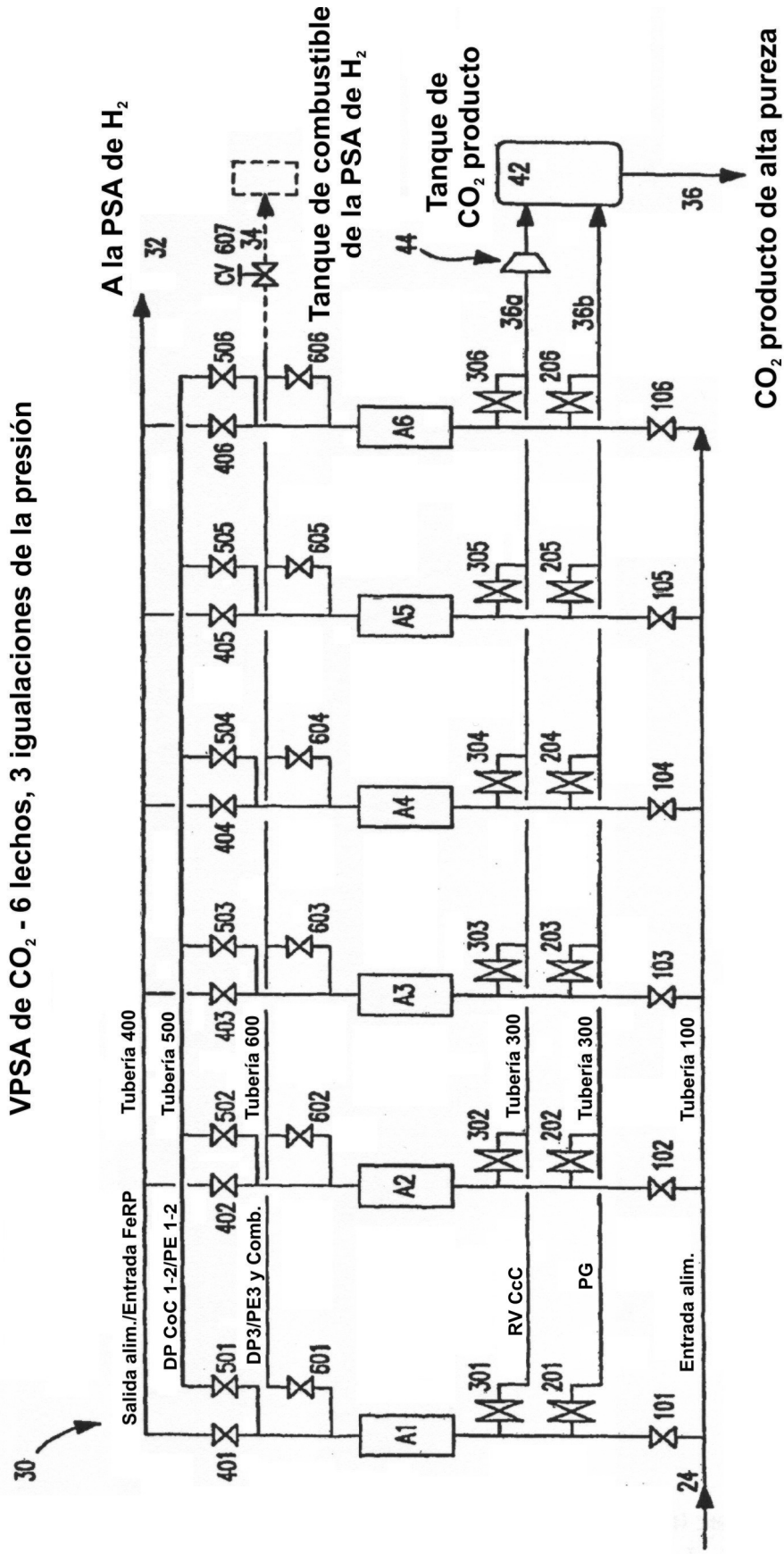


FIG. 7

Secuencia de las válvulas
VPSA de CO₂ – 6 lechos, 3 igualaciones de la presión

Nº de etapa	Tiempo (s)		LECHO						Entrada alimentación	Salida aliment./FeRP	PG	RV	DP CoC/PE 1 y 2	Combustible y DP3/PE3
	Desde	A Duración	A1	A2	A3	A4	A5	A6						
			Alim.	PE1	PE3	RV	DP3	DP1						
1	0	30	Alim.	PE1	PE3	RV	DP3	DP1	0		0	0	0	0
2	30	60	Alim.	PE1	PE3	RV	DP3	DP1	0		0	0	0	0
3	60	90	Alim.	FeRP	PE2	RV	Comb.	DP2	0		0	0	0	0
4	90	120	Alim.	FeRP	PE2	RV	PG	DP2	0		0	0	0	0
5	120	150	DP1	Alim.	PE1	PE3	RV	DP3	0		0	0	0	0
6	150	180	DP1	Alim.	PE1	PE3	RV	DP3	0		0	0	0	0
7	180	210	DP2	Alim.	FeRP	PE2	RV	Comb.	0		0	0	0	0
8	210	240	DP2	Alim.	FeRP	PE2	RV	PG	0		0	0	0	0
9	240	270	DP3	DP1	Alim.	PE1	PE3	RV	0		0	0	0	0
10	270	300	DP3	DP1	Alim.	PE1	PE3	RV	0		0	0	0	0
11	300	330	Comb.	DP2	Alim.	FeRP	PE2	RV	0		0	0	0	0
12	330	360	PG	DP2	Alim.	FeRP	PE2	RV	0		0	0	0	0
13	360	390	RV	DP3	DP1	Alim.	PE1	PE3	0		0	0	0	0
14	390	420	RV	DP3	DP1	Alim.	PE1	PE3	0		0	0	0	0
15	420	450	RV	Comb.	DP2	Alim.	FeRP	PE2	0		0	0	0	0
16	450	480	RV	PG	DP2	Alim.	FeRP	PE2	0		0	0	0	0
17	480	510	PE3	RV	DP3	DP1	Alim.	PE1	0		0	0	0	0
18	510	540	PE3	RV	DP3	DP1	Alim.	PE1	0		0	0	0	0
19	540	570	PE2	RV	Comb.	DP2	Alim.	FeRP	0		0	0	0	0
20	570	600	PE2	RV	PG	DP2	Alim.	FeRP	0		0	0	0	0
21	600	630	PE1	PE3	RV	DP3	DP1	Alim.	0		0	0	0	0
22	630	660	PE1	PE3	RV	DP3	DP1	Alim.	0		0	0	0	0
23	660	690	FeRP	PE2	RV	Comb.	DP2	Alim.	0		0	0	0	0
24	690	720	FeRP	PE2	RV	PG	DP2	Alim.	0		0	0	0	0

Aliment.
DP1
DP2
DP3
Comb.
PG
RV
PE3
PE2
PE1
FeRP

Alimentación a la VPSA de CO₂ → Producto como alimentación a la PSA de H₂

DP1 CoC a PE1 con un lecho A

DP2 CoC a PE2 con otro lecho A

DP3 CoC a PE3 con otro lecho A

DP CoC para combustible y DP CcC para recoger un CO₂ producto puro de la zona inferior

DP CcC para recoger un CO₂ producto puro de la zona inferior

Realización de vacío CcC para recoger un CO₂ producto en el mismo tanque de compensación que en la etapa DB CcC

PE3 CcC con un lecho A en DP3 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂

PE2 CcC con un lecho A en DP2 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂

PE1 CcC con un lecho A en DP1 para aumentar la recuperación de H₂/CO₂

Representación CcC mediante el efluente de alimentación

"En blanco"

0 Válvula cerrada

θ Válvula completamente abierta

0 Válvula con posicionador

FIG. 8