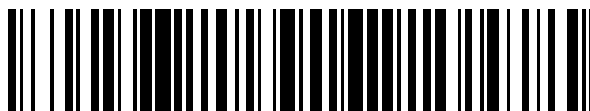


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 178**

51 Int. Cl.:

B01D 53/047

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2013** **E 13159290 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018** **EP 2638950**

54 Título: **Proceso de adsorción por oscilación de presión**

30 Prioridad:

15.03.2012 US 201213421094

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

18.12.2018

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US

72 Inventor/es:

WEIST, JR., EDWARD LANDIS y
XU, JIANGUO

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 694 178 T3

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

DESCRIPCIÓN

Proceso de adsorción por oscilación de presión

5 **Antecedentes**

Esta invención se refiere a procesos de adsorción por oscilación de presión (PSA), y más particularmente a tales procedimientos que emplean múltiples lechos adsorbentes.

10 Los procedimientos de PSA son bien conocidos para la separación de mezclas de gases que contienen componentes con diferentes características de adsorción. Por ejemplo, la producción de hidrógeno a través de la adsorción por oscilación de presión (PSA de H_2) es una industria multimillonaria que suministra hidrógeno de alta pureza para industrias productoras de productos químicos, refinación de metales y otras industrias relacionadas.

15 En un sistema típico de PSA, un gas multicomponente se pasa a al menos uno de múltiples lechos de adsorción a una presión elevada para adsorber al menos un componente fuertemente absorbido mientras que al menos un componente pasa a través. En el caso de PSA de H_2 , H_2 es el componente más débilmente adsorbido que pasa a través del lecho.

20 Algunos ciclos de PSA utilizan un gas de enjuague durante una o más etapas del ciclo. El gas de enjuague está típicamente comprimido. La industria desea reducir los requisitos de compresión para los ciclos de PSA.

La industria desea proporcionar un procedimiento PSA mejorado que aumente la recuperación H_2 en un sistema de lecho múltiple.

25

Breve resumen

La presente invención se refiere a un proceso para la separación de un gas componente de gas primario a partir de una mezcla de gas de alimentación en al menos cuatro lechos de adsorción, comprendiendo la mezcla de gas de alimentación el componente de gas primario y componentes de gas secundarios, conteniendo cada lecho de adsorción un adsorbente selectivo para los componentes secundarios del gas. El proceso comprende someter cada uno de los al menos cuatro lechos de adsorción a un ciclo repetitivo.

30

Existen varios aspectos de la invención, que son como se indica a continuación.

35

Aspecto 1 - Un proceso en el que el ciclo repetitivo comprende, en secuencia, (a) una etapa de alimentación, (b) una primera etapa de igualación disminuyendo la presión, (c) una etapa de proporcionar purga, (d) una etapa de purgado, (e) una etapa de purga, (f) una primera etapa de igualación aumentando la presión, y (g) una etapa de represurización, donde:

40

la etapa de alimentación (a) comprende introducir la mezcla de gas de alimentación a una presión de gas de alimentación que oscila entre 1,0 MPa y 7,0 MPa en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación y adsorber los componentes de gas secundarios en el adsorbente en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación mientras se retira simultáneamente un gas de producto que comprende el componente de gas primario del lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación;

45

la primera etapa de igualación disminuyendo la presión (b) comprende la extracción en la misma corriente de un gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión;

50

la etapa proporcionar purga (c) comprende la extracción en la misma corriente de un gas de purga de un lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, y el paso del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga a un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga;

55

la etapa de purgado (d) comprende la extracción a contracorriente de un gas de purgado de un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado, teniendo el gas de purgado una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación;

60

la etapa de purga (e) comprende la introducción a contracorriente del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga y la extracción a contracorriente de un efluente de gas de purga del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga, teniendo el efluente del gas de purga una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación;

65

la primera etapa de igualación aumentando la presión (f) comprende la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo

la presión en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión; y la etapa de represurización (g) comprende aumentar la presión en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización hasta que el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización esté sustancialmente a la presión del gas de alimentación, mediante al menos uno de (g1) introducir en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización, y (g2) introducir a contracorriente una porción del gas de producto desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización; donde (i) la primera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además la introducción en la misma corriente de gas de enjuague en la misma corriente con la extracción del gas de igualación de presión, y opcionalmente (ii) la etapa de purga provista además comprende la introducción en la misma corriente de gas de enjuague simultáneamente con la extracción del gas de purga; y donde el gas de enjuague se forma al comprimir al menos una porción de al menos uno del gas de purgado desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado y el efluente del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga.

Aspecto 2 - El proceso del aspecto 1, donde la primera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la introducción en la misma corriente de un gas de enjuague simultáneamente con la extracción del gas de igualación de presión.

Aspecto 3 - El proceso del aspecto 1 o aspecto 2, donde la etapa de proporcionar purga (c) y la etapa de purgado (d) se combinan en una etapa combinada de proporcionar purga/purgado (c/d) donde la etapa combinada de proporcionar purga/purgado (c/d) comprende la extracción en la misma corriente de un gas de purga desde un lecho de adsorción que experimenta la etapa combinada de proporcionar purga/purgado, pasando el gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa combinada de proporcionar purga/purgado a un lecho de adsorción sometido a la etapa de purga, y extraer a contracorriente un gas de purgado desde un lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga/purgado, teniendo el gas de purgado una concentración de los componentes de gas secundarios que es más alta que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla del gas de alimentación.

Aspecto 4 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 3, donde el componente de gas principal es H_2 y los componentes de gas secundarios comprenden al menos dos de CO , CO_2 , CH_4 y N_2 .

Aspecto 5 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 4, donde una cantidad combinada de gas se extrae durante la etapa de purgado y la etapa de purga y el gas de enjuague comprende del 5 al 80 % en peso de la cantidad combinada extraída durante la etapa de purgado y la etapa de purga.

Aspecto 6 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 5, donde la primera etapa de igualación aumentando la presión comprende además al menos uno de (i) introducir en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, y (ii) introducir a contracorriente gas de producto desde al menos uno de los lechos de adsorción que experimenta la etapa de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión.

Aspecto 7 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 6, donde la presión del gas de alimentación varía de 1,0 MPa a 3,6 MPa.

Aspecto 8 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 7, donde el gas de purgado se extrae del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado hasta que la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado alcanza una presión de purgado que varía desde 100 kPa a 500 kPa.

Aspecto 9 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 8, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y una segunda etapa de igualación aumentando la presión, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de proporcionar purga y antes de la etapa de purgado en el ciclo repetitivo, donde la segunda etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción en la misma corriente de un segundo gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del segundo gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión; y

la segunda etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del segundo gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.

5 Aspecto 10 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 8, donde el ciclo repetitivo comprende además una etapa de enjuague, donde la etapa de enjuague es después de la etapa de alimentación y antes de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el ciclo repetitivo, donde:

10 la etapa de enjuague comprende la introducción en la misma corriente del gas de enjuague en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de enjuague, mientras que en la misma corriente se extrae en la misma corriente simultáneamente un efluente de gas de enjuague del lecho de adsorción en la etapa de enjuague.

15 Aspecto 11 - El proceso del aspecto 10, donde el aumento de la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de repesurización (g) comprende además introducir a contracorriente al menos una porción del efluente de gas de enjuague desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de enjuague.

20 Aspecto 12 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 8, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y una segunda etapa de igualación aumentando la presión, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga en el ciclo repetitivo, donde la segunda etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

25 la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción en la misma corriente de un segundo gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del segundo gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión; y

30 la segunda etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del segundo gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.

35 Aspecto 13 - El proceso del aspecto 12, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague simultáneamente con la extracción del segundo gas de igualación de presión.

40 Aspecto 14 - El proceso de uno cualquiera de los aspectos 1 a 8, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación decreciente presión y una segunda etapa de igualación aumentando la presión, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de alimentación y antes de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el ciclo repetitivo, donde la segunda etapa de igualación aumentando la presión es después de la primera etapa de igualación aumentando la presión y antes de la etapa de repesurización en el ciclo repetitivo, donde:

45 la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción en la misma corriente de un segundo gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del segundo gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión; y

50 la segunda etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del segundo gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.

55 Aspecto 15 - El proceso del aspecto 14, donde el ciclo repetitivo comprende además una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y una tercera etapa de igualación aumentando la presión, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de proporcionar purga y antes de la etapa de purgado en el ciclo repetitivo, donde la tercera etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

60 la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un tercer gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del tercer gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta

la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión; y

la tercera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del tercer gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

Aspecto 16 - El proceso del aspecto 1 o el aspecto 11, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y una segunda etapa de igualación aumentando la presión, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga en el ciclo repetitivo, donde la segunda etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción en la misma corriente de un segundo gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del segundo gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión; y la segunda etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del segundo gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.

Aspecto 17 - El proceso del aspecto 16, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague simultáneamente con la extracción del segundo gas de igualación de presión.

Aspecto 18 - El proceso del aspecto 16 o el aspecto 17, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y una tercera etapa de igualación aumentando la presión, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga en el ciclo repetitivo, donde la tercera etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la segunda etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un tercer gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del tercer gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión; y la tercera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del tercer gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

Aspecto 19 - El proceso del aspecto 18, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague simultáneamente con la extracción del tercer gas de igualación de presión.

Aspecto 20 - El proceso del aspecto 12 o el aspecto 13, donde el ciclo repetitivo comprende además una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y una tercera etapa de igualación aumentando la presión, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de proporcionar purga y antes de la etapa de purgado en el ciclo repetitivo, donde la tercera etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la segunda etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un tercer gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del tercer gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión; y

la tercera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del tercer gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación

disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

5 Aspecto 21 - El proceso del aspecto 20, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además la extracción a contracorriente de un gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, donde el gas de enjuague se forma mediante la compresión de al menos una porción del gas de purgado desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión.

10 Aspecto 22 - El proceso del aspecto 12 o el aspecto 13, donde el ciclo repetitivo comprende además una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y una tercera etapa de igualación aumentando la presión, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga, donde la tercera etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la segunda etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un tercer gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del tercer gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión; y
20 la tercera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del tercer gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.
25

Aspecto 23 - El proceso del aspecto 22, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague simultáneamente con la extracción del tercer gas de igualación de presión.
30

Aspecto 24. El proceso del aspecto 22 o el aspecto 23, donde el ciclo repetitivo comprende además una cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión y una cuarta etapa de igualación aumentando la presión, donde la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga, donde la cuarta etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la tercera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un cuarto gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del cuarto gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión; y
40

la cuarta etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del cuarto gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión.
45

Aspecto 25 - El proceso del aspecto 24, donde la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague simultáneamente con la extracción del cuarto gas de igualación de presión.
50

Aspecto 26 - El proceso del aspecto 13, donde el ciclo repetitivo comprende además una quinta etapa de igualación disminuyendo la presión y una quinta etapa de igualación aumentando la presión, donde la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga, donde la quinta etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la cuarta etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un quinto gas de igualación de presión y un gas de purga de un lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión, pasando el quinto gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión, igualando la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión, y que pasa el gas de purga del lecho de
60
65

adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión al lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga; y

la quinta etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del quinto gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión; y

donde la etapa de purga comprende además introducir a contracorriente el gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga.

Aspecto 27. El proceso del aspecto 26, donde el ciclo repetitivo tiene un tiempo de ciclo para ejecutar un ciclo completo del ciclo repetitivo, y

donde cuando los lechos de adsorción se someten al ciclo repetitivo, la duración de la etapa de alimentación es del 23 % al 27 % del tiempo del ciclo repetitivo o la duración de la etapa de purga es del 23 % al 27 % del tiempo del ciclo del ciclo repetitivo.

Breve descripción de diversas vistas de los dibujos

La figura 1 es un esquema de un sistema de adsorción que tiene al menos 4 lechos de adsorción.

La figura 2a es una tabla de ciclos para un ciclo de 4 lechos de adsorción con una sola etapa de igualación de presión. La figura 2b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 2a.

La figura 3a es una tabla de ciclos para un ciclo de 4 lechos de adsorción que tiene dos etapas de igualación de presión. La figura 3b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 3a.

La figura 4a es una tabla de ciclos para un ciclo de 4 lechos de adsorción con una etapa de enjuague y una etapa de igualación de presión. La figura 4b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 4a.

La figura 5a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 5 que tiene dos etapas de igualación de presión. La figura 5b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 5a.

La figura 6a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 5 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 6b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 6a.

La figura 7a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 5 que tiene dos etapas de igualación de presión y una etapa de enjuague. La figura 7b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 7a.

La figura 8a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 5 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 8b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 8a.

La figura 9a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 6 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 9b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 9a.

La figura 10a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 6 que tiene dos etapas de igualación de presión. La figura 10b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 10a.

La figura 11a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 6 que tiene dos etapas de igualación de presión y una etapa de enjuague. La figura 11b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 11a.

La figura 12a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 8 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 12b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 12a.

La figura 13a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 10 que tiene cuatro etapas de igualación de presión. La figura 13b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 13a.

5 La figura 14a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 10 que tiene cuatro etapas de igualación de presión. La figura 14b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 14a.

10 La figura 15a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 10 que tiene tres etapas de igualación de presión y una etapa de enjuague. La figura 15b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 15a.

15 La figura 16a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 12 que tiene cinco etapas de igualación de presión. La figura 16b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 16a.

20 La figura 17a es una tabla de ciclos para un ciclo de lecho de adsorción de 12 que tiene cinco etapas de igualación de presión. La figura 17b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 17a.

Descripción detallada

Los artículos "un" y "una" como se usa aquí significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descrita en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones. El uso de "un" y "una" no limita el significado a una sola característica, a menos que se establezca específicamente tal límite. El artículo "el" que precede a los sustantivos singulares o plurales o las frases nominales indica una característica específica particular o características específicas particulares y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se utiliza. El adjetivo "cualquiera" significa uno, algunos o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad. El término "y/o" ubicado entre una primera entidad y una segunda entidad significa uno de (1) la primera entidad, (2) la segunda entidad y (3) la primera entidad y la segunda entidad. El término "y/o" ubicado entre las dos últimas entidades de una lista de 3 o más entidades significa al menos una de las entidades en la lista.

35 La frase "al menos una porción" significa "una porción o la totalidad." La al menos una porción de un flujo puede tener la misma composición que el flujo del que se deriva. La al menos una porción de un flujo puede incluir componentes específicos del flujo del que se deriva.

Como se usa en el presente documento, los porcentajes de concentración son por ciento en moles.

40 Las presiones son presiones absolutas, a menos que se indique específicamente que son presiones manométricas.

El presente proceso es un proceso para separar un componente de gas primario de una mezcla de gas de alimentación que comprende el componente de gas primario y componentes de gas secundarios. El componente de gas primario puede ser H_2 y los componentes de gas secundarios puede ser gases tales como CO , CO_2 y CH_4 . El componente de gas primario puede ser H_2 y los componentes de gas secundarios pueden ser gases como CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 y/o alcanos superiores, alquenos y compuestos aromáticos, asociados con los flujos de gas de refinería. El componente de gas primario puede ser He y los componentes de gas secundarios pueden ser gases tales como N_2 , CH_4 , CO y/o CO_2 . El componente de gas primario puede ser N_2 y los componentes de gas secundarios pueden ser gases tales como C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 y/o C_4H_8 .

50 La mezcla de gas de alimentación puede ser un reformado a partir de un proceso de reformado de hidrocarburo con vapor o un proceso de reformado autotérmico. El reformado puede haber sido cambiado en un reactor de cambio.

55 El proceso se realiza en al menos 4 lechos de adsorción, conteniendo cada lecho de adsorción un adsorbente selectivo para los componentes secundarios. Un adsorbente "selectivo para los componentes secundarios" significa que los componentes secundarios se adsorben más fuertemente en el adsorbente que el componente primario. Para el caso donde el componente de gas primario es H_2 , y los componentes de gas secundarios comprenden CO , CO_2 y CH_4 , el adsorbente es selectivo para CO , CO_2 y CH_4 . Los adsorbentes adecuados para CO , CO_2 y CH_4 son conocidos en la técnica, por ejemplo, carbón activado, alúmina, gel de sílice y zeolitas, tales como NaX , CaX , LiX y CaA , y mezclas de los mismos.

60 El proceso se puede realizar en cualquier número adecuado de lechos de adsorción mayor que 3, por ejemplo, al menos 4, al menos 5, al menos 6, al menos 8, al menos 10, o al menos 12 lechos de adsorción, conteniendo cada lecho de adsorción un adsorbente selectivo para los componentes secundarios.

65 Como son bien conocidos los procesos de adsorción por oscilación de presión (PSA), un experto ordinario en la

técnica puede construir un sistema de adsorción adecuado para realizar el proceso descrito en este documento. El equipo adecuado para realizar el proceso es bien conocido en la técnica. Las condiciones de operación no divulgadas específicamente en el presente documento que son adecuadas para su uso en el proceso descrito en el presente documento pueden ser determinadas por un experto en la técnica sin experimentación indebida.

El proceso puede realizarse en lechos adsorbentes axiales o lechos adsorbentes radiales.

La figura 1 muestra un esquema de un ejemplo de sistema de adsorción con lechos de adsorción 10A, 20A, 30A, 40A, 50A, 10B, 20B, 30B, 40B y 50B, adecuados para el proceso.

Un lecho de adsorción es un conjunto de material de adsorción que se somete a cada una de las etapas del ciclo simultáneamente. Un lecho de adsorción puede estar contenido en un solo recipiente de contención o contenido dentro de múltiples recipientes de contención. Por ejemplo, con referencia al ciclo de 4 lechos en la figura 2a y al esquema del sistema de adsorción en la figura 1, todo el material de adsorción en el lecho de adsorción 10A experimenta la etapa de alimentación simultáneamente, luego todo el material de adsorción en el lecho de adsorción 10A experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión (eq1d) simultáneamente, luego todo el material de adsorción en el lecho de adsorción experimenta la etapa de purga (pp) proporcionada simultáneamente, luego todo el material de adsorción en el lecho de adsorción 10A experimenta la etapa de purgado (bd) simultáneamente, luego todo el material de adsorción en el lecho de adsorción 10A experimenta la etapa de purga simultáneamente, luego todo el material de adsorción en el lecho de adsorción 10A experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión (eq1r) simultáneamente, luego todo el material de adsorción en el lecho de adsorción 10A experimenta la etapa de represurización (repr) simultáneamente.

Cada uno de los lechos de adsorción tiene un "extremo de entrada" y un "extremo de descarga", así llamado debido a su función durante la etapa de alimentación (también llamada la etapa de adsorción) del ciclo de adsorción. Se introduce una mezcla de gas de alimentación en el "extremo de entrada" del lecho de adsorción y se extrae un gas de efluente del "extremo de descarga" durante la etapa de alimentación del ciclo. Durante otras etapas del ciclo de adsorción, el gas puede introducirse o extraerse del "extremo de entrada". Del mismo modo, durante otras etapas del ciclo de adsorción, el gas puede introducirse o extraerse del "extremo de descarga".

El proceso se describirá con referencia a las figuras.

El proceso comprende someter cada uno de la pluralidad de los al menos cuatro lechos de adsorción a un ciclo repetitivo. El ciclo repetitivo comprende, en secuencia, (a) una etapa de alimentación, (b) una primera etapa de igualación disminuyendo la presión, (c) una etapa de proporcionar purga, (d) una etapa de purgado, (e) una etapa de purga, (f) una primera etapa de igualación aumentando la presión, y (g) una etapa de represurización.

La etapa de alimentación, designada "alimentación" en las figuras, comprende la introducción de mezcla de gas de alimentación (por ejemplo, un reformado) a una presión de gas de alimentación que varía desde 1,0 MPa a 7,0 MPa o de 1,0 MPa a 3,6 MPa en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación y adsorción de los componentes de gas secundarios (por ejemplo, CO, CO₂ y/o CH₄) en el adsorbente en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación mientras se extrae simultáneamente un gas de producto (por ejemplo, gas de producto de H₂) desde el lecho de adsorción que se está sometiendo a la etapa de alimentación. El gas producido contiene una concentración más alta del componente de gas primario que la mezcla de gas de alimentación y está agotado de los componentes de gas secundarios. La duración del paso de alimentación puede ser de 30 segundos a 300 segundos.

El procedimiento se puede realizar a una temperatura que varía de 4 °C a 70 °C.

El término "agotado" significa que tiene una concentración en porcentaje en moles menor de los gases indicados que el flujo original del que se formó. "Agotado" no significa que el flujo carece completamente del gas indicado. El gas de producto extraído durante la etapa de alimentación, por lo tanto, tiene una mayor concentración en porcentaje en moles del componente de gas primario que la mezcla de gas de alimentación debido a la adsorción de los componentes de gas secundarios en el adsorbente.

Al final de la etapa de alimentación, el lecho de adsorción contiene lo que se llama un gas de espacio vacío que es una combinación de ambos en fase gaseosa y las moléculas de fase adsorbida. El gas del espacio vacío tiene una mayor concentración promedio de los componentes más fuertemente adsorbibles que la mezcla de gas de alimentación, ya que los componentes menos adsorbibles se retiraron como el flujo de producto. La concentración de los diversos componentes de la mezcla de gases de espacio vacío generalmente variará en función de la distancia desde el extremo de entrada al extremo de descarga del lecho de adsorción. El gas de espacio vacío cerca del extremo de descarga generalmente tendrá una alta concentración de componentes débilmente adsorbibles y componentes no adsorbibles. El gas del espacio vacío cerca del extremo de entrada generalmente tendrá una mayor concentración de los componentes más fuertemente adsorbibles.

La dirección del flujo durante otras etapas se describe típicamente con referencia a la dirección del flujo durante la

etapa de alimentación. Por lo tanto, el flujo de gas en la misma dirección que el flujo de gas durante la etapa de alimentación es "en la misma corriente" y el flujo de gas que está en la dirección opuesta a la corriente de gas durante la etapa de alimentación es "a contracorriente". La introducción en la misma corriente de un gas en un lecho de adsorción significa introducir el gas en la misma dirección que el gas durante la etapa de alimentación. La introducción a contracorriente de un gas en un lecho de adsorción significa introducir el gas en una dirección opuesta a la dirección del flujo de gas durante la etapa de alimentación. La retirada en la misma corriente de un gas de un lecho de adsorción significa retirar el gas en la misma dirección que el gas durante la etapa de alimentación. La retirada a contracorriente de un gas de un lecho de adsorción significa extraer el gas en una dirección opuesta a la dirección del flujo de gas durante la etapa de alimentación.

El gas se puede introducir en la misma corriente de forma simultánea en el extremo de entrada y en el momento de la introducción de forma simultánea en el extremo de descarga. El gas puede extraerse en la misma corriente de forma simultánea desde el extremo de descarga y extraerse a contracorriente desde el extremo de entrada.

Cuando el gas se extrae de una posición intermedia al extremo de entrada y al extremo de descarga (es decir, en una posición situada entre el extremo de entrada y el extremo de descarga), una porción del gas se extrae en la misma corriente y una porción se extrae a contracorriente. Cuando el gas se introduce en una posición intermedia al extremo de entrada y al extremo de descarga, una porción del gas se introduce en la misma corriente y una porción se introduce a contracorriente.

La primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras, comprende la extracción en la misma corriente de un gas de igualación de presión 83 desde un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión. La primera etapa de igualación aumentando la presión se designa con "eq1r".

Tal como se define en el presente documento, "igualar la presión" significa que la diferencia de presión entre los lechos de adsorción al final de la etapa de igualación de presión es menor que 250 kPa (36 psi). Luego, al final de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y de la etapa de igualación aumentando la presión, la presión en el lecho de adsorción al final de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión no es mayor que 250 KPa más que la presión en el lecho de adsorción al final de la primera etapa de igualación aumentando la presión.

La primera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción de gas de enjuague de forma simultánea con la extracción del gas de igualación de presión.

La duración de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión puede ser de 10 segundos a 150 segundos.

La etapa proporcionar purga, designada "pp" en las figuras, comprende la extracción en la misma corriente de un gas de purga de un lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, y el paso del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga a un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga.

La etapa de proporcionar purga puede comprender además la introducción en la misma corriente de gas de enjuague de forma simultánea con la extracción del gas de purga.

La etapa de purgado, designada "bd" en las figuras, comprende extraer a contracorriente un gas de purgado desde un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado. El gas de purgado tiene una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación. El gas de purgado se puede extraer del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado hasta que la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado alcanza una presión de purgado que varía desde 100 kPa a 500 kPa. La presión de purgado es la presión en el lecho de adsorción al final de la etapa de purgado.

La etapa de purga, designada "purga" en las figuras, comprende la introducción a contracorriente del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga y la extracción a contracorriente de un efluente de gas de purga del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga. El efluente de gas de purga tiene una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación.

La primera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión.

Como se usa en el presente documento, los términos "primero", "segundo", "tercero", "cuarto", etc., se utilizan para distinguir entre una pluralidad de etapas de igualación aumentando/disminuyendo la presión y no indica su posición relativa en la secuencia.

- 5 La primera etapa de igualación aumentando la presión puede comprender además introducir en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación y/o introducir a contracorriente gas de producto en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión.

- 10 La etapa de represurización, designada "repr" en las figuras, comprende el aumento de la presión en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización hasta que el lecho de adsorción que experimenta a la etapa de represurización está sustancialmente a la presión de gas de alimentación. La presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización se puede aumentar en al menos uno de (1) introduciendo en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización, y
15 (2) introduciendo a contracorriente una porción del gas de producto del lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización.

- 20 "Substantialmente a la presión de gas de alimentación" significa dentro de 10 % de la presión de gas de alimentación (es decir, dentro de +/- 10 % de la presión de gas de alimentación).

- El gas de enjuague se forma al comprimir al menos una porción de al menos uno del gas de purgado desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado y el efluente del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga. El gas de enjuague puede formarse a partir de una porción del gas de purgado y
25 ninguno del efluente del gas de purga, todo el gas de purgado y ninguno del efluente del gas de purga, una porción del gas de purgado y una porción del efluente del gas de purga, todo el gas de purgado y una porción del efluente del gas de purga, ninguno del gas de purgado y una porción del efluente del gas de purga, ninguno del gas de purgado y todo el efluente del gas de purga, una porción del gas de purgado y todo el efluente de gas de purga, o
30 todo el gas de purgado y todo el efluente de gas de purga. Un compresor comprime el gas de purgado y/o el efluente del gas de purga para formar el gas de enjuague. El gas de enjuague pasa directamente al lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación que disminuye la presión y, opcionalmente, el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga o se almacena temporalmente en un tanque amortiguador antes de pasar al lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación que disminuye la presión y
35 opcionalmente el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga.

- Una cantidad de gas se extrae durante la etapa de purgado y una cantidad de gas se extrae durante la etapa de purga. El gas de enjuague puede comprender del 5 al 80 % en peso de la cantidad combinada de gas extraída durante la etapa de purgado y durante la etapa de purga.

- 40 El ciclo repetitivo en el proceso puede comprender además etapas de igualación disminuyendo la presión adicionales y etapas de igualación aumentando la presión complementarias adicionales. Se puede usar cualquier número adecuado de etapas de igualación adicionales que disminuyen/aumentan la presión. Las una o más etapas de igualación disminuyendo la presión adicionales están designadas por al menos uno de "eq1d", "eq2d", "eq3d" o "eq4d", en las figuras, excluyendo la que designa la primera etapa de igualación disminuyendo la presión. Las una o
45 más etapas de igualación aumentando la presión adicionales están designadas por al menos uno de "eq1r", "eq2r", "eq3r" o "eq4r", en las figuras, excluyendo la que designa la primera etapa de igualación aumentando la presión.

- La una o más etapas de igualación disminuyendo la presión comprenden la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la etapa de igualación decreciente de presión adicional, y el paso del gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la etapa de igualación aumentando la presión adicional, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la etapa de igualación disminuyendo la presión adicional y el lecho de adsorción que experimenta la etapa de
50 igualación aumentando la presión adicional.

- 55 Las etapas de igualación disminuyendo la presión adicionales pueden comprender además opcionalmente en la misma corriente la introducción de gas de enjuague de forma simultánea con la extracción del gas de igualación de presión.

- El ciclo repetitivo en el proceso puede comprender además una etapa de enjuague. La etapa de enjuague, denominada "enjuague" en las figuras, si está presente, es después de la etapa de alimentación y antes de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el ciclo repetitivo. La etapa de enjuague comprende la introducción en la misma corriente del gas de enjuague en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de enjuague, mientras que en la misma corriente se extrae en la misma corriente simultáneamente un efluente de gas de enjuague del lecho de adsorción en la etapa de enjuague. El efluente del gas de enjuague se puede combinar
60 con el gas del producto. El gas de enjuague se forma al comprimir al menos una porción de al menos uno del gas de purgado desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado y el efluente del gas de purga desde el

lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga. Un compresor comprime el gas de purgado y/o el efluente del gas de purga para formar el gas de enjuague.

- 5 Cuando el ciclo repetitivo incluye una etapa de enjuague, la etapa de represurización puede comprender además introducir a contracorriente al menos una porción del efluente de gas de enjuague desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de enjuague en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización.

Ejemplos

10 Ejemplo 1

La figura 2a ilustra un gráfico de ciclos para un ciclo de 4 lechos de adsorción del Ejemplo 1 que tiene una sola etapa de igualación de presión. La figura 2b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 2a.

- 15 El ciclo repetitivo en la figura 2 comprende, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una primera etapa igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

- 20 La etapa de alimentación comprende la introducción de mezcla de gas de alimentación (por ejemplo, un reformado) a una presión de gas de alimentación que varía desde 1,0 MPa a 7,0 MPa o de 1,0 MPa a 3,6 MPa en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación y adsorción de los componentes de gas secundarios (por ejemplo, CO, CO₂ y/o CH₄) en el adsorbente en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación mientras se extrae simultáneamente un gas de producto 103 (por ejemplo, gas de producto de H₂) desde el lecho de adsorción que se está sometiendo a la etapa de alimentación. El gas producido contiene una concentración más alta del componente de gas primario que la mezcla de gas de alimentación y está agotado de los componentes de gas secundarios.

- 30 La primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 2a y 2b, comprende la extracción en la misma corriente de un gas de igualación de presión 83 desde un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión. La primera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además la introducción en la misma corriente de un gas de enjuague 91 simultáneamente con la extracción del gas de igualación de presión 83. Se requiere menos potencia de compresión para proporcionar gas de enjuague en la primera etapa de igualación disminuyendo la presión que para proporcionar gas de enjuague en una etapa de enjuague a la presión del gas de alimentación.

- 40 La etapa proporcionar purga, designada "pp" en las figuras 2a y 2b, comprende la extracción en la misma corriente de un gas de purga 85 de un lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, y el paso del gas de purga 85 desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga a un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga. Adicionalmente a la introducción de gas de enjuague en el lecho que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, el gas de enjuague se puede introducir en el lecho que se somete a la etapa de proporcionar purga como lo muestran las líneas discontinuas.

- 50 La etapa de purgado, designada "bd" en las figuras 2a y 2b, comprende extraer a contracorriente un gas de purgado 87 desde un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado. El gas de purgado tiene una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación 81.

- 55 La etapa de purga, designada "purga" en las figuras 2a y 2b, comprende la introducción a contracorriente del gas de purga 85 desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga y la extracción a contracorriente de un efluente de gas de purga 89 del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga. El efluente de gas de purga 89 tiene una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación 81.

- 60 La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" en las figuras 2a y 2b, comprende la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión 83 desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión.

- 65 Como se muestra en las figuras 2a y 2b, la primera etapa de igualación aumentando la presión puede opcionalmente comprender además introducir en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación 81 y/o introducir a

contracorriente gas de producto 103 en el lecho de adsorción de experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión 83 desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión.

- 5 La etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 2a y 2b, comprende el aumento de la presión en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización hasta que el lecho de adsorción que experimenta a la etapa de represurización está sustancialmente a la presión de gas de alimentación. En la figura 2b, la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización se incrementa mediante la introducción a contracorriente de una porción del gas de producto 103 desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización. Adicional o alternativamente, como lo indican las líneas discontinuas, la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización puede incrementarse mediante la introducción en la misma corriente de la mezcla de gas de alimentación 81 en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización.
- 10
- 15 El gas de enjuague 91 se forma al comprimir al menos una porción de al menos uno del gas de purgado 87 desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado y el efluente 89 del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga. El compresor 60 comprime el gas de purgado y/o el efluente del gas de purga para formar el gas de enjuague 91. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. El gas de enjuague se puede formar a partir del efluente del gas de purga mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.
- 20

Ejemplo 2

- 25 La figura 3a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 4 lechos de adsorción del Ejemplo 2 que tiene dos etapas de igualación de presión. La figura 3b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 3a.
- 30 El ciclo repetitivo en las figuras 3a y 3b comprenden, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una etapa de proporcionar purga "pp", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".
- 35 La etapa de alimentación, designada "alimentación", la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d", y la etapa de proporcionar purga, designada "pp" en las figuras 3a y 3b, son como se describen en el Ejemplo 1.
- 40 La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 3a y 3b, comprende la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión 84 desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión 84 a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.
- 45 La etapa de purgado, designada "bd" y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 3a y 3b, son como se describen en el Ejemplo 1.
- 50 La segunda etapa de igualación aumentando la presión, "eq2r" comprende la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 84 desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.
- 55 La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada por "eq1r" y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 3a y 3b, son como se describen en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. El gas de enjuague se puede formar a partir del efluente del gas de purga mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 3

- 65 La figura 4a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 4 lechos de adsorción del Ejemplo 3 que tiene una etapa de

igualación de presión y una etapa de enjuague. La figura 4b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 4a.

El ciclo repetitivo en las figuras 4a y 4b comprende, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una etapa de enjuague "enjuague", una primera etapa de igualación decreciente de presión "eq1d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una etapa de inactividad "inactivo", una primera etapa de igualación creciente de presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación es como se describe en el Ejemplo 1.

La etapa de enjuague, designada por "enjuague" en las figuras 4a y 4b, comprende la introducción en la misma corriente del gas de enjuague 91 en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de enjuague, mientras que en la misma corriente se extrae en la misma corriente simultáneamente un efluente 92 de gas de enjuague del lecho de adsorción en la etapa de enjuague. El efluente del gas de enjuague se puede combinar con el gas del producto 103.

La primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d", la etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 4a y 4b, son como se describe en el Ejemplo 1.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 4a y 4b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r", comprende la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión 83 desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión.

Como se muestra en las figuras 4a y 4b, la primera etapa de igualación aumentando la presión puede opcionalmente comprender además introducir en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación 81 y/o introducir a contracorriente gas de producto 103 y/o el efluente 92 del gas de enjuague en el lecho de adsorción de experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión 83 desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión.

La etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 4a y 4b, comprende el aumento de la presión en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización hasta que el lecho de adsorción que experimenta a la etapa de represurización está sustancialmente a la presión de gas de alimentación. En la figura 4b, la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización se incrementa mediante la introducción a contracorriente de una porción del gas de producto 103 y/o efluente 92 de gas de enjuague desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización. Adicional o alternativamente, como lo indican las líneas discontinuas, la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización puede incrementarse mediante la introducción en la misma corriente de la mezcla de gas de alimentación 81 en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. El gas de enjuague se puede formar a partir del efluente del gas de purga mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 4

La figura 5a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 5 lechos de adsorción del Ejemplo 4 que tiene dos etapas de igualación de presión. La figura 5b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 5a.

El ciclo repetitivo en las figuras 5a y 5b comprenden, en secuencia, una de la etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una etapa de inactividad "inactivo", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", otra etapa de inactividad "inactivo", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación" y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 5a y 5b, son como se describen en el Ejemplo 1.

La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 5a y 5b, comprende la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión 84 desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión 84 a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión puede comprender además opcionalmente la introducción conjunta de un gas de enjuague 91 en la misma corriente con la extracción del gas de igualación de presión 84 como se indica por la línea discontinua. Se requiere menos potencia de compresión para proporcionar gas de enjuague en la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión que para proporcionar gas de enjuague en la primera etapa de igualación disminuyendo la presión o a la presión del gas de alimentación.

La etapa de proporcionar purga, designada "pp" en las figuras 5a y 5b, es como se describe en el Ejemplo 1.

La etapa de purgado, designada "bd" y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 5a y 5b, son como se describen en el Ejemplo 1.

En las etapas de inactividad, designadas "inactivo" en las figuras 5a y 5b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r", y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 5a y 5b, son como se describen en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. El gas de enjuague se puede formar a partir del efluente del gas de purga mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 5

La figura 6a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 5 lechos de adsorción del Ejemplo 5 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 6b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 6a.

El ciclo repetitivo en las figuras 6a y 6b comprende, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una etapa de proporcionar purga "pp", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", una etapa de inactividad "inactivo", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación", la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d", y la etapa de proporcionar purga, designada "pp" en las figuras 6b, son como se describen el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 6a y 6b, es como se describe en el Ejemplo 4.

La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq3d" en las figuras 6a y 6b, comprende la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión 86 desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión 86 a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

La etapa de purgado, designada "bd" y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 6a y 6b, son como se describen en el Ejemplo 1.

La tercera etapa de igualación aumentando la presión, "eq3r" comprende la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 86 desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r", es como se describe en el Ejemplo 1.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 6a y 6b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2.

Como se muestra en las figuras 6a y 6b mediante las líneas discontinuas, la segunda etapa de igualación aumentando la presión puede opcionalmente comprender además introducir en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación 81 y/o introducir a contracorriente gas de producto 103 en el lecho de adsorción de experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 84 desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión.

La etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 6a y 6b, es como se describe en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. El gas de enjuague se puede formar a partir del efluente del gas de purga mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 6

La figura 7a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 5 lechos de adsorción del Ejemplo 6 que tiene dos etapas de igualación de presión y una etapa de enjuague. La figura 7b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 7a.

El ciclo repetitivo en las figuras 7a y 7b comprende, en secuencia, una de la etapa de alimentación "alimentación", una etapa de enjuague "enjuague", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una etapa de inactividad "inactivo", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación", y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 7a y 7b, son como se describen en el Ejemplo 1.

La etapa de enjuague, designada por "enjuague" en las figuras 7a y 7b, es como se describe en el Ejemplo 3.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 7a y 7b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 7a y 7b, es como se describe en el Ejemplo 4. La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 7a y 7b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 7a y 7b, son como se describe en el Ejemplo 3.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Como la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la etapa de enjuague de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague para la etapa de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. Dado que la etapa de purga de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague para la primera etapa de igualación disminuyendo la presión puede formarse convenientemente principalmente a partir del efluente del gas de purga. Para la opción donde el gas de enjuague se introduce en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, el gas de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado, ya que la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión se alinea con una etapa de purgado. El gas de enjuague para cualquier etapa puede formarse a partir del efluente del gas de purga y/o del gas de purgado mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 7

La figura 8a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 5 lechos de adsorción del Ejemplo 7 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 8b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 8a.

El ciclo repetitivo en las figuras 8a y 8b comprenden, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la

presión "eq2d", una etapa de proporcionar purga "pp", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una etapa de inactividad "inactivo", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación" y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 8a y 8b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 8a y 8b, es como se describe en el Ejemplo 4. La etapa de proporcionar purga, designada "pp" en las figuras 8a y 8b, es como se describe en el Ejemplo 1.

La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq3d" en las figuras 8a y 8b, comprende la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión 86 desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión puede opcionalmente comprender además extraer a contracorriente un gas de purgado 88 del lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, como se muestra en la línea discontinua.

La etapa de purgado, designada "bd" y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 8a y 8b, son como se describen en el Ejemplo 1. La tercera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq3r", es como se describe en el Ejemplo 5. La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 8a y 8b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r", y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 8a y 8b, son como se describen en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma mediante la compresión de al menos una porción de al menos uno de los gas de purgado 87 del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado, experimentando el gas de purgado 88 del lecho de adsorción la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el efluente 89 del gas de purga del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga. El compresor 60 comprime el gas de purgado 87, 88 y/o el efluente del gas de purga 89 para formar el gas de enjuague 91. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague para el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión puede formarse principalmente a partir del gas de purgado. Dado que la tercera igualación disminuyendo la presión de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague para el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión puede formarse a partir del gas de purgado del lecho sometido a la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión. Alternativamente, el gas de enjuague formado a partir del gas de purgado de un lecho que experimenta la etapa de purgado puede combinarse con el efluente del gas de purga y almacenarse temporalmente en un tanque amortiguador 65 antes de pasar como gas de enjuague al lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión. En cualquiera de los ciclos, el gas puede almacenarse en un tanque amortiguador antes de pasar a otro lecho.

Ejemplo 8

La figura 9a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 6 lechos de adsorción del Ejemplo 8 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 9b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 9a.

El ciclo repetitivo en las figuras 9a y 9b comprenden, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r" y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación", y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 9a y 9b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 9a y 9b, es como se describe en el Ejemplo 4.

La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq3d" en las figuras 9a y 9b, comprende la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión 86 desde un lecho de adsorción que experimenta

la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión 86 a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión puede comprender además opcionalmente la introducción simultánea de gas de enjuague 91 en la misma corriente con la extracción del gas de igualación de presión 86 como se indica por la línea discontinua. Se requiere menos potencia de compresión para proporcionar gas de enjuague a la presión en la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión que para proporcionar gas de enjuague a la presión de la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión.

La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", la etapa de purga, designado "purga" en las figuras 9a y 9b, son como se describe en el Ejemplo 1. La tercera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq3r", es como se describe en el Ejemplo 5. La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r", y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 9a y 9b, son como se describen en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague en el primer lecho de igualación disminuyendo la presión puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. Dado que la etapa de purga de un lecho de adsorción se alinea con la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, si se desea, puede formarse convenientemente principalmente a partir del efluente del gas de purga. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague al tercer lecho de igualación disminuyendo la presión, si se desea, puede formarse convenientemente principalmente a partir de gas de purga. El gas de enjuague para cualquier etapa puede formarse a partir del efluente del gas de purga y/o del gas de purgado mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 9

La figura 10a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 6 lechos de adsorción del Ejemplo 9 que tiene dos etapas de igualación de presión. La figura 10b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 10a.

El ciclo repetitivo en las figuras 10a y 10b comprende, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación" y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 10a y 10b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 10a y 10b, es como se describe en el Ejemplo 4. La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 10a y 10b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 10a y 10b, son como se describe en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague en el primer lecho de igualación disminuyendo la presión puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. Dado que la etapa de purga de un lecho de adsorción se alinea con la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, si se desea, puede formarse convenientemente principalmente a partir del efluente del gas de purga. El gas de enjuague para cualquier etapa puede formarse a partir del efluente del gas de purga y/o del gas de purgado mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 10

La figura 11a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 6 lechos de adsorción del Ejemplo 10 que tiene dos etapas de igualación de presión y una etapa de enjuague. La figura 11b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos

de gas para el gráfico de ciclo de la figura 11a.

El ciclo repetitivo en las figuras 11a y 11b comprende, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una etapa de inactividad "inactivo", una etapa de enjuague "enjuague", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación es como se describe en el Ejemplo 1. En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 11a y 11b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción. La etapa de enjuague, designada por "enjuague" en las figuras 11a y 11b, es como se describe en el Ejemplo 3. La primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 11a y 11b, es como se describe en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 11a y 11b, es como se describe en el Ejemplo 4. La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 11a y 11b, son como se describen en el Ejemplo 1.

La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 11a y 11b, son como se describen en el Ejemplo 3.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Como la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la etapa de enjuague de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague para la etapa de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. Dado que la etapa de purga de un lecho de adsorción está alineada con la primera etapa de igualación disminuyendo la presión de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague para la primera etapa de igualación disminuyendo la presión puede formarse convenientemente principalmente a partir del efluente del gas de purga. Para la opción donde el gas de enjuague se introduce en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, el gas de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado, ya que la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión se alinea con una etapa de purgado. El gas de enjuague para cualquier etapa puede formarse a partir del efluente del gas de purga y/o del gas de purgado mediante el uso de un recipiente amortiguador donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 11

La figura 12a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 8 lechos de adsorción del Ejemplo 11 que tiene tres etapas de igualación de presión. La figura 12b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 12a.

El ciclo repetitivo en las figuras 12a y 12b comprende, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una etapa de inactividad "inactivo", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación" y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 12a y 12b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 12a y 12b, es como se describe en el Ejemplo 4. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq3d" en las figuras 12a y 12b, como se describe en el Ejemplo 8.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 12a y 12b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", y la etapa de purga, designado "purga" en figuras 12a y 12b, son como se describen en el Ejemplo 1.

La tercera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq3r", es como se describe en el Ejemplo 5. La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r", y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 12a y 12b, son como se describen en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción y la etapa de purga de otro lecho de adsorción están alineadas con la primera, segunda y tercera etapas

de igualación reduciendo la presión de otro lecho de adsorción, experimentando el gas de enjuague al lecho de adsorción la primera, segunda y/o tercera etapas de igualación disminuyendo la presión se pueden formar a partir de gas de purgado y/o efluente de gas de purga. El gas de enjuague para cualquier etapa puede formarse a partir del efluente del gas de purga y/o del gas de purgado mediante el uso de un recipiente amortiguador donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 12

La figura 13a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 10 lechos de adsorción del Ejemplo 12 que tiene cuatro etapas de igualación de presión. La figura 13b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 13a.

El ciclo repetitivo en las figuras 13a y 13b comprenden, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión "eq4d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una etapa de inactividad "inactivo", una cuarta etapa de igualación aumentando la presión "eq4r", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación" y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 13a y 13b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 13a y 13b, es como se describe para el Ejemplo 4. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq3d" en las figuras 13a y 13b, es como se describe para el Ejemplo 8.

La cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq4d" en las figuras 13a y 13b, comprende la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión 93 desde un lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión 93 a un lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión. La cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión puede comprender además opcionalmente la introducción simultáneamente de gas de enjuague 91 en la misma corriente con la extracción del gas de igualación de presión 93 como se indica por la línea discontinua. Se requiere menos potencia de compresión para proporcionar gas de enjuague a la cuarta presión de la etapa de igualación disminuyendo la presión que para proporcionar gas de enjuague a la presión de la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión.

La etapa de proporcionar purga proporcionada, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd" y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 13a y 13b, son como se describe en el Ejemplo 1.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 13a y 13b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

La cuarta etapa de igualación aumentando la presión, "eq4r" comprende la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 93 desde el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión.

La etapa tercera de igualación aumentando la presión, designado "eq3r", es como se describe en el Ejemplo 5. La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 13a y 13b, son como se describen en el Ejemplo 1.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que la etapa de purgado de un lecho de adsorción y la etapa de purga de otro lecho de adsorción están alineadas con la primera, segunda, tercera y cuarta etapas de igualación reduciendo la presión de otro lecho de adsorción, experimentando el gas de enjuague al lecho de adsorción la primera, segunda, tercera y/o cuarta etapas de igualación disminuyendo la presión se pueden formar a partir de gas de purgado y/o efluente de gas de purga.

El procedimiento que utiliza el ciclo de 10 lechos en el Ejemplo 12 se evaluó usando un simulador de proceso dinámico.

La composición del gas de alimentación fue de 73,7 % de H₂, 16,8 % de CO₂, 6,3 % de CH₄, 2,9 % de CO y 0,3 % de N₂. La presión del gas de alimentación fue de 3,3 MPa (465 psig) y la temperatura del gas de alimentación fue de 38 °C (100 °F). El diámetro de los recipientes adsorbentes simulados fue de 3,7 m (12 pies) y contenía 4,8 m (15,6 pies) de carbón activado y 3,7 m (12,2 pies) de 5A como los adsorbentes. La duración de la etapa de alimentación

fue de 150 s. La presión promedio en la salida del recipiente adsorbente durante la etapa de purga fue de 146 kPa (6,5 psig). La velocidad de alimentación se ajustó para mantener la concentración de CO en el producto de hidrógeno a 1 ppm.

- 5 La tabla 1 muestra los resultados para reciclar el gas de enjuague solo durante las etapas eq1d y eq2d. El gas de enjuague comprendía una porción de una mezcla bien mezclada de gas de purgado y efluente de gas de purga. Como se usa en este documento, las condiciones estándar son 0 °C y 1 atm. La recuperación de H₂ aumenta a medida que aumenta la cantidad de reciclados de gas de enjuague. En comparación con el reciclaje de ningún gas de enjuague, el reciclaje de 4,2 Nm³/s del gas de cola extraído durante las etapas de purgado y purga como gas de enjuague, la tasa de producción de H₂ aumenta de 35,9 a 36,1 Nm³/s, mientras que la recuperación de H₂ aumenta desde un 90 % a un 93,9 %. A medida que aumenta adicionalmente la cantidad de gas de enjuague, la capacidad global del sistema de PSA disminuye considerablemente, mientras que la recuperación de H₂ también aumenta.

- 15 Para proporcionar gas de enjuague durante las etapas eq1d y eq2d, el gas de purgado y el efluente de gas de purga deben comprimirse a la presión de gas de alimentación, alrededor de 3,3 MPa, en el inicio de la etapa eq1d.

Tabla 1.

Tasa de gas de alimentación (Nm ³ /s)	Tasa de producción de H ₂ (Nm ³ /s)	Tasa de gas de enjuague (Nm ³ /s)	Recuperación de H ₂ (%)
54,2	35,9	0	90
53,6	36,1	1,4	91,1
53,0	36,2	2,8	92,8
52,1	36,1	4,2	93,9
50,4	35,2	5,6	94,7
47,3	33,2	7,1	95,2
44,0	31,1	8,5	95,7
40,6	28,8	9,9	96,2
37,8	26,9	11,3	96,5

Ejemplo 13

- 20 La figura 14a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 10 lechos de adsorción del Ejemplo 13 que tiene cuatro etapas de igualación de presión. La figura 14b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 14a.

- 25 El ciclo repetitivo en las figuras 14a y 14b comprenden, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión "eq4d", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una etapa de inactividad "inactivo", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", una cuarta etapa de igualación aumentando la presión "eq4r", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", y una etapa de represurización "repr".

- 35 La etapa de alimentación es como se describe en el Ejemplo 1. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq3d" es como se describe en el Ejemplo 8. La cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq4d" es como se describe en el Ejemplo 12.

- 40 La primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 14a y 14b, es como se describe en el Ejemplo 1. Se requiere menos potencia de compresión para proporcionar gas de enjuague a la presión de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión que para proporcionar gas de enjuague a una etapa de enjuague a la presión del gas de alimentación o a las presiones operativas de la tercera y cuarta etapas de igualación disminuyendo la presión.

- 45 La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 14a y 14b, es como se describe para el Ejemplo 4. Se requiere menos potencia de compresión para proporcionar gas de enjuague en la presión de la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión que para proporcionar gas de enjuague a una etapa de enjuague a la presión del gas de alimentación o a las presiones operativas de la primera, tercera y cuarta etapas de igualación disminuyendo la presión.

- 50 La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 14a y 14b, son como se describen en el Ejemplo 1.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 14a y 14b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

- 55 La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La

primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" en las figuras 14a y 14b, es como se describe en el Ejemplo 1.

La cuarta etapa de igualación aumentando la presión, "eq4r" comprende la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 93 desde el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión.

La tercera etapa de igualación aumentando la presión, "eq3r" comprende la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 86 desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que al menos un lecho de adsorción experimentará a la etapa de purgado y al menos un lecho de adsorción experimentará a la etapa de purga cuando el lecho de adsorción está experimentando una primera o segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, el gas de enjuague del lecho de adsorción que experimenta la primera o segunda etapas de igualación disminuyendo la presión pueden formarse a partir de gas de purgado y/o efluente de gas de purga.

El procedimiento que utiliza el ciclo de 10 lechos en el Ejemplo 13 se evaluó usando el simulador de proceso dinámico con los mismos parámetros de gas de alimentación como en el Ejemplo 12.

La Tabla 2 muestra los resultados para reciclar el gas de enjuague durante las etapas eq1d y eq2d cuando otras etapas de igualación (eq3d y eq4d) preceden a las etapas eq1d y eq2d. El gas de enjuague comprendía una porción de una mezcla bien mezclada de gas de purgado y efluente de gas de purga. La etapa eq1d comienza a aproximadamente 1,9 MPa (260 psig), por lo que el coste energético de la compresión es menor que para el Ejemplo 12. El aumento en la recuperación de H₂ como una función de la cantidad de gas de enjuague reciclado es menor que para el Ejemplo 12. En comparación con el reciclaje de ningún gas de enjuague, el reciclaje de 5,6 Nm³/s del gas de cola extraído durante las etapas de purgado y purga como gas de enjuague, la tasa de producción de H₂ aumenta de 35,9 a 36,1 Nm³/s, mientras que la recuperación de H₂ aumenta desde un 90 % a un 92,4%. A medida que aumenta adicionalmente la cantidad de gas de enjuague, la capacidad global del sistema de PSA disminuye considerablemente, mientras que la recuperación de H₂ también aumenta ligeramente.

Tabla 2.

Tasa de gas de alimentación (Nm ³ /s)	Tasa de producción de H ₂ (Nm ³ /s)	Tasa de gas de enjuague (Nm ³ /s)	Recuperación de H ₂ (%)
54,2	35,9	0	90
54,2	36,3	1,4	90,8
54,1	36,4	2,8	91,4
53,8	36,5	4,2	92
52,9	36,1	5,6	92,4
52,0	35,6	7,1	92,7
49,6	33,9	8,5	92,7

Ejemplo 14

La figura 15a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 10 lechos de adsorción del Ejemplo 14 que tiene tres etapas de igualación de presión y una etapa de enjuague. La figura 15b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 15a.

El ciclo repetitivo en las figuras 15a y 15b comprende, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una etapa de enjuague "enjuague", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una etapa de inactivación "inactivo", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación es como se describe en el Ejemplo 1. La etapa de enjuague, designada por "enjuague" en las figuras 15a y 15b, es como se describe en el Ejemplo 3. La primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 15a y 15b, es como se describe en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 15a y 15b, es como se describe para el Ejemplo 4. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq3d" en las figuras 15a y 15b, es como se describe en el Ejemplo 8.

En la etapa de inactividad, designada "inactivo" en las figuras 15a y 15b, como sugiere la designación, el lecho está inactivo y no fluyen gases dentro o fuera del lecho de adsorción.

La etapa de proporcionar purga, "purga" designada "pp", y la etapa de purgado, designado "bd", y la etapa de purga, designada en las figuras 15a y 15b, son como se describe en el Ejemplo 1.

La tercera etapa de igualación aumentando la presión, "eq3r" comprende la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 86 desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r", y la etapa de represurización, designada "repr" son como se describe en el Ejemplo 3.

El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Como la etapa de purgado de un lecho de adsorción está alineada con la etapa de enjuague de otro lecho de adsorción, el gas de enjuague para la etapa de enjuague puede formarse convenientemente principalmente a partir del gas de purgado. Dado que siempre hay al menos un lecho de adsorción en la purgado y otro en la purga, el gas de enjuague para la primera y/o la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión puede formarse a partir del gas de purgado y/o el efluente del gas de purga. El gas de enjuague para cualquier etapa puede formarse a partir del efluente del gas de purga y/o del gas de purgado mediante el uso de un recipiente de almacenamiento donde el efluente del gas de purga y/o el gas de purgado se pueden almacenar antes de la compresión.

Ejemplo 15

La figura 16a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 12 lechos de adsorción del Ejemplo 15 que tiene cinco etapas de igualación de presión. La figura 16b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 16a.

El ciclo repetitivo en las figuras 16a y 16b comprenden, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión "eq4d", una quinta etapa de igualación disminuyendo la presión "eq5d*", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una quinta etapa de igualación aumentando la presión "eq5r", una cuarta etapa de igualación aumentando la presión "eq4r", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

La etapa de alimentación, designada "alimentación", y la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 16a y 16b, son como se describen en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 16a y 16b, es como se describe en el Ejemplo 4. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq3d" en las figuras 16a y 16b, es como se describe en el Ejemplo 8. La cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq4d" en las figuras 16a y 16b, es como se describe en el Ejemplo 12.

La quinta etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq5d*" en las figuras 16a y 16b, comprende la extracción en la misma corriente de gas de igualación de presión 94 y gas de purga desde un lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión 94 a un lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión. El gas de purga extraído del lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión se pasa al lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga.

La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 16a y 16b, son como se describen en el Ejemplo 1.

En el ciclo de acuerdo con el ejemplo 15, la duración de la etapa de purga es del 23 % al 27 % del tiempo de ciclo del ciclo repetitivo. Tres lechos están en purga en cualquier momento. Los inventores han descubierto que aumentar la duración de la etapa de purga puede mejorar la capacidad de adsorción y aumentar la recuperación simultáneamente. Esto puede ser particularmente importante cuando se aumenta la capacidad de producción.

La quinta etapa de igualación aumentando la presión, "eq5r" comprende la introducción a contracorriente de gas de igualación de presión 94 desde el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

La cuarta etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq4r", es como se describe en el Ejemplo 12. La tercera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq3r", es como se describe en el Ejemplo 5. La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La

primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 16a y 16b, son como se describen en el Ejemplo 1.

- 5 El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que siempre hay al menos un lecho de adsorción en la purgado y otro en la purga, el gas de enjuague para la primera y/o la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión puede formarse a partir del gas de purgado y/o el efluente del gas de purga.

Ejemplo 16

- 10 La figura 17a ilustra una tabla de ciclos para un ciclo de 12 lechos de adsorción del Ejemplo 16 que tiene cinco etapas de igualación de presión. La figura 17b es un esquema que ilustra la dirección de los flujos de gas para el gráfico de ciclo de la figura 17a.

- 15 El ciclo repetitivo en las figuras 17a y 17b comprenden, en secuencia, una etapa de alimentación "alimentación", una primera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq1d", una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión "eq2d", una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión "eq3d", una cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión "eq4d", una quinta etapa de igualación disminuyendo la presión "eq5d*", una etapa de proporcionar purga "pp", una etapa de purgado "bd", una etapa de purga "purga", una quinta etapa de igualación aumentando la presión "eq5r", una cuarta etapa de igualación aumentando la presión "eq4r", una tercera etapa de igualación aumentando la presión "eq3r", una segunda etapa de igualación aumentando la presión "eq2r", una primera etapa de igualación aumentando la presión "eq1r", y una etapa de represurización "repr".

- 25 La etapa de alimentación es como se describe en el Ejemplo 1. En el ciclo de acuerdo con el ejemplo 16, la duración de la etapa de alimentación es del 23 % al 27 % del tiempo de ciclo del ciclo repetitivo. Tres lechos están en alimentación en cualquier momento. Los inventores han descubierto que aumentar la duración de la etapa de alimentación puede mejorar la capacidad de adsorción y aumentar la recuperación simultáneamente. Esto puede ser particularmente importante cuando se aumenta la capacidad de producción.

- 30 La primera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada por "eq1d" en las figuras 17a y 17b, es como se describe en el Ejemplo 1. La segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq2d" en las figuras 17a y 17b, es como se describe en el Ejemplo 4. La tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq3d" en las figuras 17a y 17b, es como se describe en el Ejemplo 8. La cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq4d" en las figuras 17a y 17b, es como se describe en el Ejemplo 12.

- 35 La quinta etapa de igualación disminuyendo la presión, designada "eq5d*", es como se describe en el Ejemplo 15. La etapa de proporcionar purga, designada "pp", la etapa de purgado, designada "bd", y la etapa de purga, designada "purga" en las figuras 17a y 17b, son como se describen en el Ejemplo 1.

- 40 La quinta etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq5r", es como se describe en el Ejemplo 15. La cuarta etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq4r", es como se describe en el Ejemplo 12. La tercera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq3r", es como se describe en el Ejemplo 5.

- 45 La segunda etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq2r", es como se describe en el Ejemplo 2. La primera etapa de igualación aumentando la presión, designada "eq1r" y la etapa de represurización, designada "repr" en las figuras 17a y 17b, son como se describen en el Ejemplo 1.

- 50 El gas de enjuague 91 se forma como se describe en el Ejemplo 1. Dado que siempre hay al menos un lecho de adsorción en la purgado y otro en la purga, el gas de enjuague para la primera y/o la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión puede formarse a partir del gas de purgado y/o el efluente del gas de purga.

Los ejemplos ilustran una serie de posibles ciclos de acuerdo con la invención, pero no son de ningún modo exhaustivos.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para separar un componente de gas primario de una mezcla de gas de alimentación en al menos cuatro lechos de adsorción, comprendiendo la mezcla de gas de alimentación el componente de gas primario y los componentes de gas secundarios, conteniendo cada lecho de adsorción un adsorbente selectivo para los componentes secundarios, comprendiendo el proceso someter cada uno de los al menos cuatro lechos de adsorción en un ciclo repetitivo, comprendiendo el ciclo repetitivo, en secuencia, (a) una etapa de alimentación, (b) una primera etapa de igualación disminuyendo la presión, (c) una etapa de proporcionar purga, (d) una etapa de purgado, (e) una etapa de purga, (f) una primera etapa de igualación aumentando la presión, y (g) una etapa de represurización, donde:

la etapa de alimentación (a) comprende introducir la mezcla de gas de alimentación a una presión de gas de alimentación que oscila entre 1,0 MPa y 7,0 MPa en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación y adsorber los componentes de gas secundarios en el adsorbente en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación mientras se retira simultáneamente un gas de producto que comprende el componente de gas primario del lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación;

la primera etapa de igualación disminuyendo la presión (b) comprende la extracción en la misma corriente de un gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión;

la etapa proporcionar purga (c) comprende la extracción simultánea de un gas de purga de un lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, y el paso del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga a un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga;

la etapa de purgado (d) comprende la extracción a contracorriente de un gas de purgado de un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado, teniendo el gas de purgado una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación;

la etapa de purga (e) comprende la introducción a contracorriente del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de proporcionar purga, en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga y la extracción a contracorriente de un efluente de gas de purga del lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga, teniendo el efluente del gas de purga una concentración de los componentes de gas secundarios que es mayor que la concentración de los componentes de gas secundarios en la mezcla de gas de alimentación;

la primera etapa de igualación aumentando la presión (f) comprende la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión; y

la etapa de represurización (g) comprende aumentar la presión en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización hasta que el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización esté sustancialmente a la presión del gas de alimentación, mediante al menos uno de (g1) introducir simultáneamente la mezcla de gas de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización, y (g2) introducir a contracorriente una porción del gas de producto desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización;

donde (i) la primera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además la introducción simultánea de un gas de enjuague en la misma corriente con la extracción del gas de igualación de presión, y opcionalmente (ii) la etapa de purga provista además comprende la introducción en la misma corriente de un gas de enjuague simultáneamente con la extracción del gas de purga; y

donde el gas de enjuague se forma al comprimir al menos una porción de al menos uno del gas de purgado desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purgado y el efluente del gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga.

2. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el componente de gas principal es H_2 y los componentes de gas secundarios comprenden al menos dos de CO , CO_2 , CH_4 y N_2 .

3. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el gas de enjuague comprende del 5 al 80 % en peso de la cantidad combinada de gas extraída durante la etapa de purgado y la etapa de purga.

4. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde la primera etapa de igualación aumentando la presión comprende además al menos uno de (i) introducir en la misma corriente la mezcla de gas de alimentación en el lecho de adsorción de experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación disminuyendo la presión, y (ii) introducir a contracorriente gas de producto desde al menos uno de los lechos de adsorción que experimenta la etapa de alimentación en el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación aumentando la presión simultánea con la introducción a contracorriente del gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la primera etapa de igualación

disminuyendo la presión.

5. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el ciclo repetitivo comprende además una etapa de enjuague, donde la etapa de enjuague es después de la etapa de alimentación y antes de la primera etapa de
5 igualación disminuyendo la presión en el ciclo repetitivo, donde:
la etapa de enjuague comprende la introducción en la misma corriente del gas de enjuague en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de enjuague, mientras que en la misma corriente se extrae en la misma corriente simultáneamente un efluente de gas de enjuague del lecho de adsorción en la etapa de enjuague.
- 10 6. El proceso de la reivindicación 5, donde el aumento de la presión en el lecho de adsorción que experimenta la etapa de represurización (g) comprende además introducir a contracorriente al menos una porción del efluente de gas de enjuague desde el lecho de adsorción que experimenta la etapa de enjuague.
- 15 7. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y una segunda etapa de igualación aumentando la presión, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de proporcionar purga y antes de la etapa de purgado en el ciclo repetitivo, donde la segunda etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:
20 la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción en la misma corriente de un segundo gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del segundo gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión; y
25 la segunda etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del segundo gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.
- 30 8. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y una segunda etapa de igualación aumentando la presión, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga en el ciclo repetitivo, donde la segunda etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:
35 la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción en la misma corriente de un segundo gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del segundo gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión; y
40 la segunda etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del segundo gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión.
45
9. El proceso de la reivindicación 8, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague de forma simultánea con la extracción del segundo gas de igualación de presión.
50
10. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación decreciente presión y una segunda etapa de igualación aumentando la presión, donde la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de alimentación y antes de la primera etapa de igualación disminuyendo la presión en el ciclo repetitivo, donde la segunda etapa de igualación
55 aumentando la presión es después de la primera etapa de igualación aumentando la presión y antes de la etapa de represurización en el ciclo repetitivo, donde:
la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción en la misma corriente de un segundo gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de
60 igualación disminuyendo la presión, y el paso del segundo gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando la presión; y
65 la segunda etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del segundo gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la segunda etapa de igualación aumentando

la presión.

- 5 11. El proceso de la reivindicación 10, donde el ciclo repetitivo comprende además una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y una tercera etapa de igualación aumentando la presión, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de proporcionar purga y antes de la etapa de purgado en el ciclo repetitivo, donde la tercera etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

10 la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un tercer gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del tercer gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión; y
15 la tercera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del tercer gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.

- 20 12. El proceso de la reivindicación 8 o 9, donde el ciclo repetitivo comprende además una segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y una tercera etapa de igualación aumentando la presión, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la segunda etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga en el ciclo repetitivo, donde la tercera etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la segunda etapa de igualación aumentando la presión en el
25 ciclo repetitivo, donde:

la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un tercer gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del tercer gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión; y
30 la tercera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del tercer gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.
35

13. El proceso de la reivindicación 12, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague de forma simultánea con la extracción del tercer gas de igualación de presión.
40

14. El proceso de la reivindicación 8 o 9, donde el ciclo repetitivo comprende además una tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y una tercera etapa de igualación aumentando la presión, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la etapa de proporcionar purga y antes de la etapa de purgado en el ciclo repetitivo, donde la tercera etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la primera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

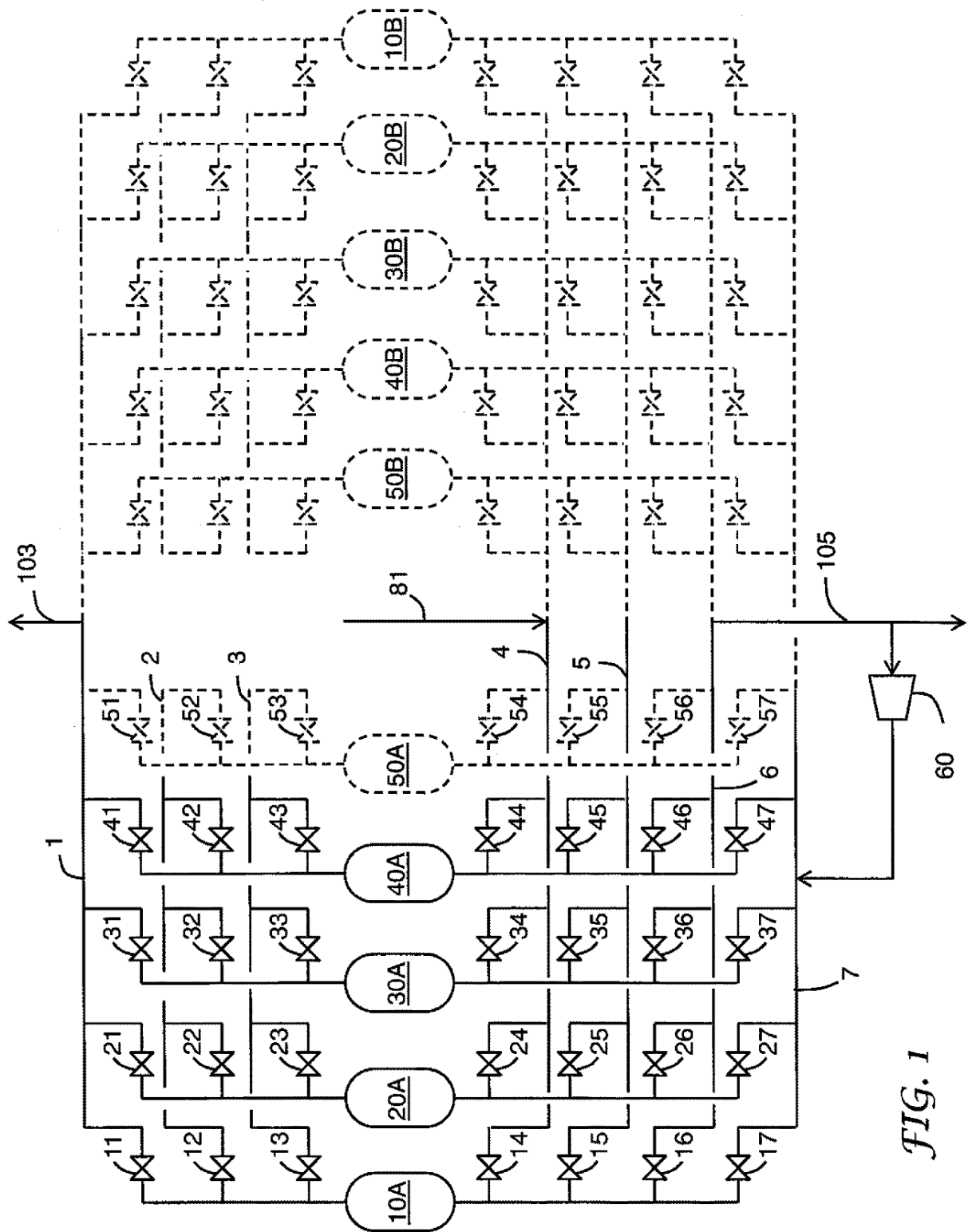
la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un tercer gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del tercer gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión; y
50 la tercera etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del tercer gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación aumentando la presión.
55

15. El proceso de la reivindicación 14, donde la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además la extracción a contracorriente de un gas de purga desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión, donde el gas de enjuague se forma mediante la compresión de al menos una porción del gas de purgado desde el lecho de adsorción que experimenta la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión.
60

16. El proceso de la reivindicación 12 o 13, donde el ciclo repetitivo comprende además una cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión y una cuarta etapa de igualación aumentando la presión, donde la cuarta etapa
65

de igualación disminuyendo la presión es después de la tercera etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga, donde la cuarta etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la tercera etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:

- 5 la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un cuarto gas de igualación de presión desde un lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión, y el paso del cuarto gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión, igualando así la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión; y
- 10 la cuarta etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del cuarto gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la cuarta etapa de igualación aumentando la presión.
- 15 17. El proceso de la reivindicación 16, donde la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión comprende además en la misma corriente la introducción del gas de enjuague de forma simultánea con la extracción del cuarto gas de igualación de presión.
- 20 18. El proceso de la reivindicación 16 o 17, donde el ciclo repetitivo comprende además una quinta etapa de igualación disminuyendo la presión y una quinta etapa de igualación aumentando la presión, donde la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión es después de la cuarta etapa de igualación disminuyendo la presión y antes de la etapa de proporcionar purga, donde la quinta etapa de igualación aumentando la presión es después de la etapa de purga y antes de la cuarta etapa de igualación aumentando la presión en el ciclo repetitivo, donde:
- 25 la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión comprende la extracción simultánea de un quinto gas de igualación de presión y un gas de purga de un lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión, pasando el quinto gas de igualación de presión a un lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión, igualando la presión entre el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión y el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión, y que pasa el gas de purga del lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión al lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga; y
- 30 la quinta etapa de igualación aumentando la presión comprende la introducción a contracorriente del quinto gas de igualación de presión desde el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión en el lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación aumentando la presión; y
- 35 la etapa de purga comprende además introducir a contracorriente el gas de purga del lecho de adsorción que experimenta la quinta etapa de igualación disminuyendo la presión en un lecho de adsorción que experimenta la etapa de purga.
- 40 19. El proceso de la reivindicación 18, donde el ciclo repetitivo tiene un tiempo de ciclo para ejecutar un ciclo completo del ciclo repetitivo, y donde cuando los lechos de adsorción se someten al ciclo repetitivo, la duración de la etapa de alimentación es del
- 45 23 % al 27 % del tiempo del ciclo repetitivo o la duración de la etapa de purga es del 23 % al 27 % del tiempo del ciclo del ciclo repetitivo.



alimentación		eq1d	pp	bd	purga	eq1r	repr
eq1r	repr		alimentación	eq1d	pp	bd	purga
bd	purga	eq1r	repr	alimentación		eq1d	pp
eq1d	pp	bd	purga	eq1r	repr	alimentación	

FIG. 2a

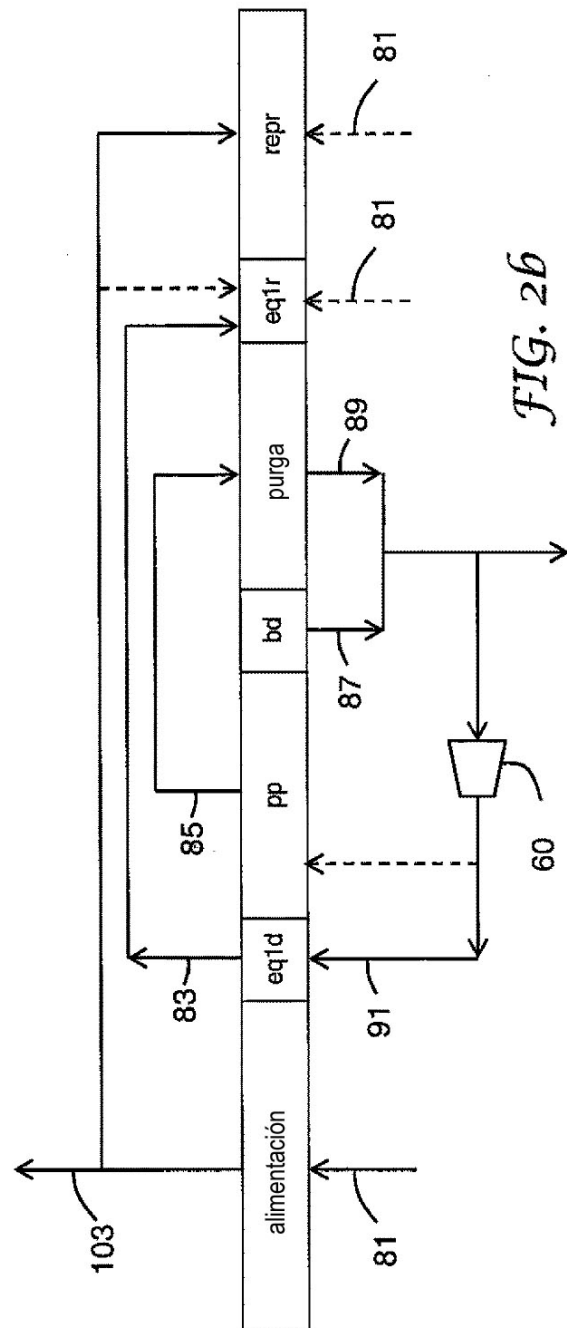


FIG. 2b

alimentación		eq1d	pp	eq2d	bd	purga	eq2r	eq1r	repr	
eq1r	repr		alimentación		eq1d	pp	eq2d	bd	purga	eq2r
bd	purga	eq2r	eq1r	repr		alimentación		eq1d	pp	eq2d
eq1d	pp	eq2d	bd	purga	eq2r	eq1r	repr		alimentación	

FIG. 3a

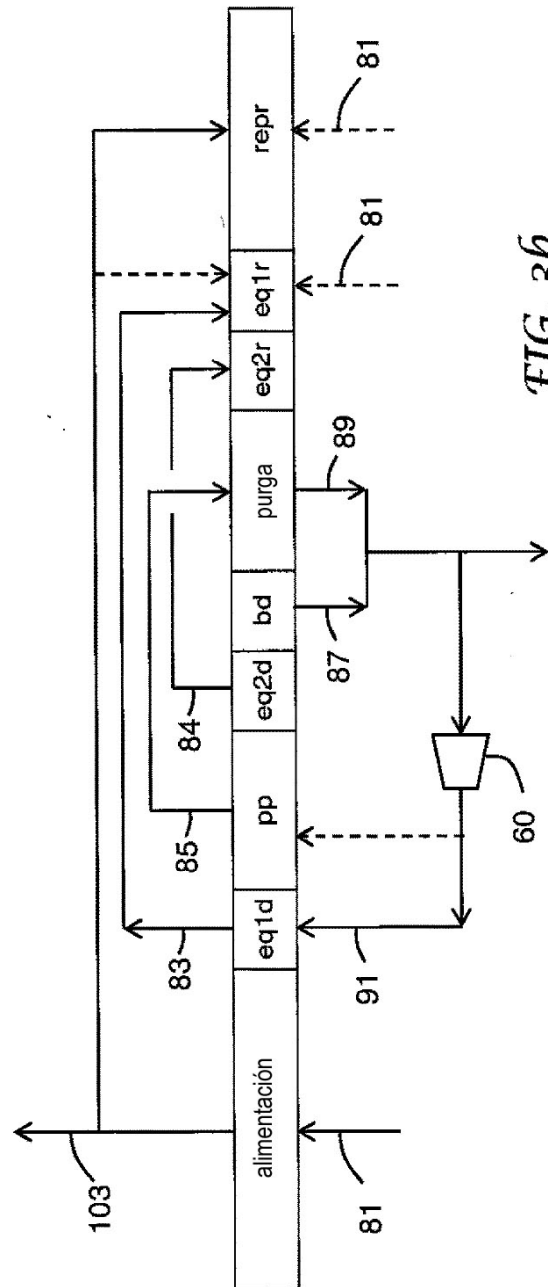


FIG. 3b

alimentación		enjuague	eq1d	pp	bd	purga	inactivo	eq1r	repr
inactivo	eq1r	alimentación		bd		pp	enjuague	bd	purga
bd	inactivo		eq1r	repr	alimentación		enjuague	eq1d	pp
enjuague	eq1d	pp	bd	purga	inactivo	eq1r	alimentación		

FIG. 4a

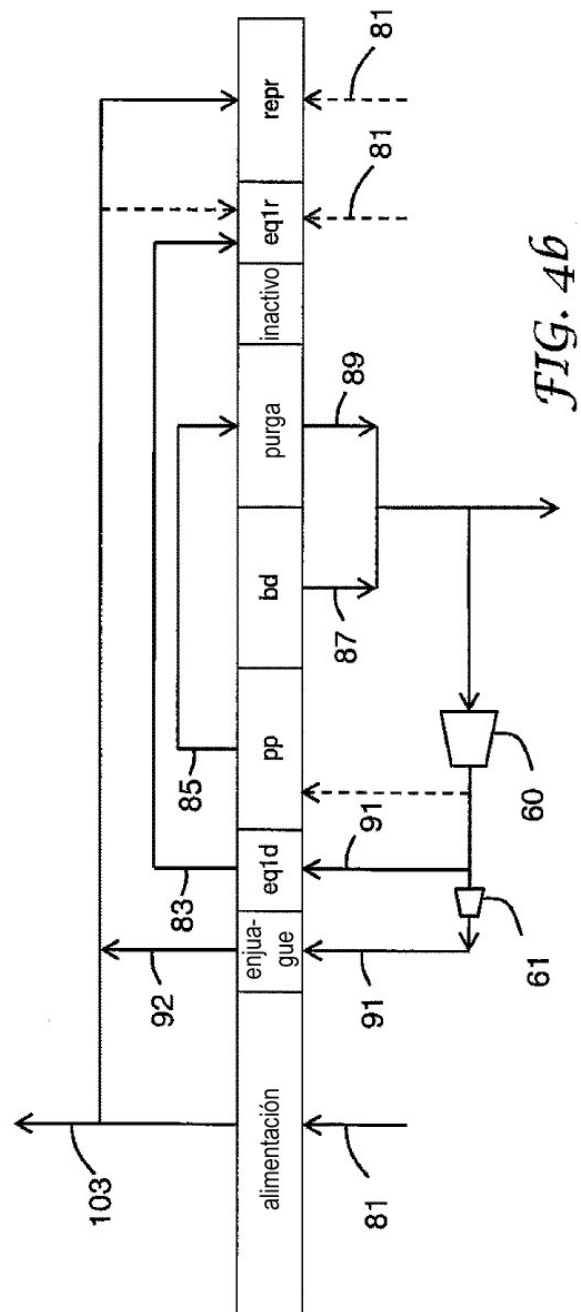


FIG. 4b

alimentación		eq1d	eq2d	pp	bd		purga	inactivo	eq1r	eq2r	inactivo	repr
eq1r	repr		alimentación		eq1d	eq2d	pp	bd	inactivo	eq2r	inactivo	
inactivo	eq2r	inactivo		repr		eq1d	eq2d	pp	bd	purga		
bd	purga		eq2r	inactivo	eq1r	repr		alimentación		eq1d	eq2d	pp
eq1d	eq2d	pp	bd	purga	inactivo	eq1r	eq2r	repr	alimentación			

FIG. 5a

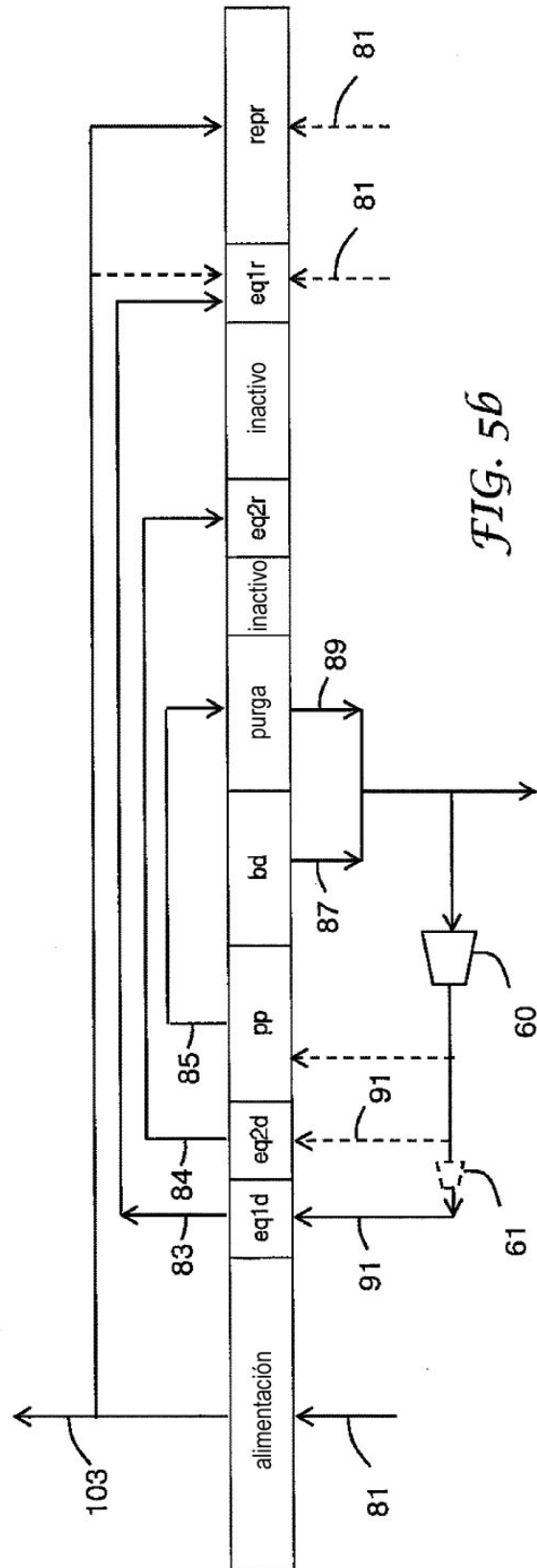


FIG. 5b

alimentación		eq2d	eq1d	pp	eq3d	bd	purga	eq3r	eq1r	inactivo	eq2r	repr	
eq2r	repr	alimentación		pp	eq2d	eq1d	pp	eq3d	bd	purga	eq3r	eq1r	inactivo
eq3r	inactivo	eq2r	repr		alimentación		pp	eq2d	eq1d	pp	eq3d	bd	purga
eq3d	purga	eq3r	eq1r	inactivo	eq2r	repr		alimentación		eq2d	eq2r	eq1d	pp
eq2d	pp	eq3d	bd	purga	eq3r	eq1r	inactivo	eq2r	repr		alimentación		

FIG. 6a

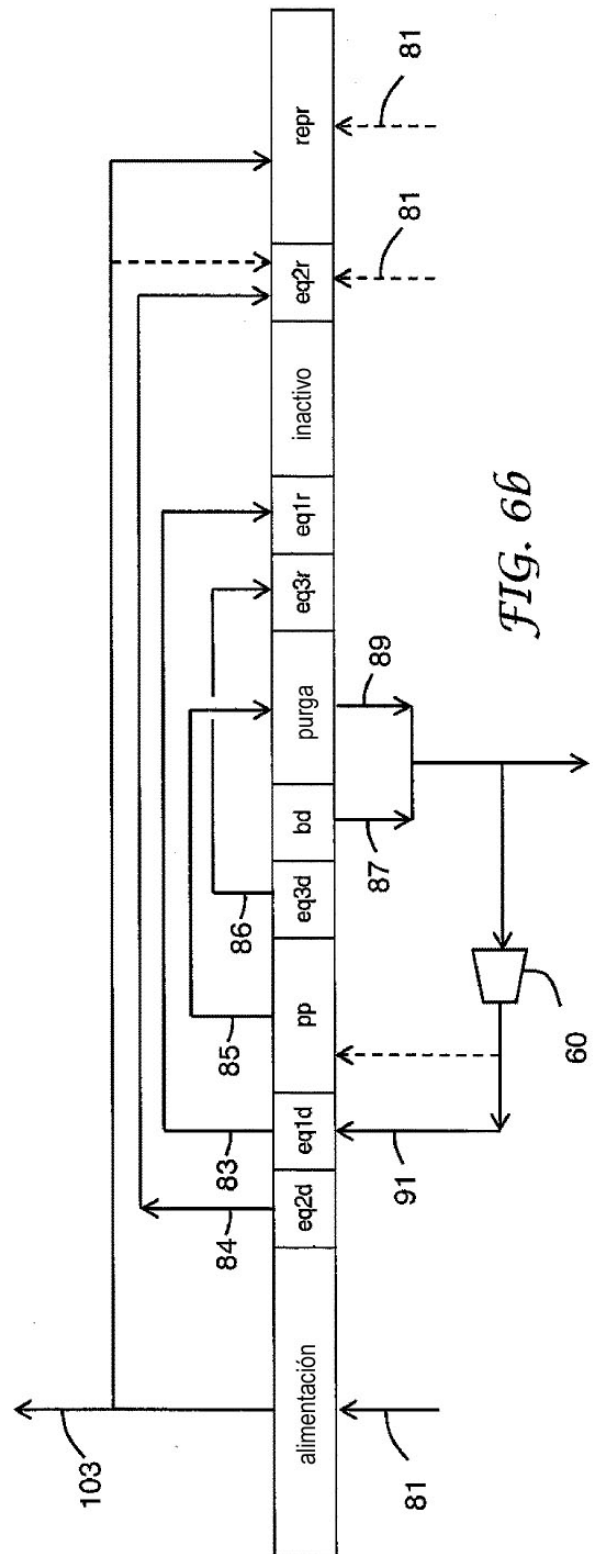
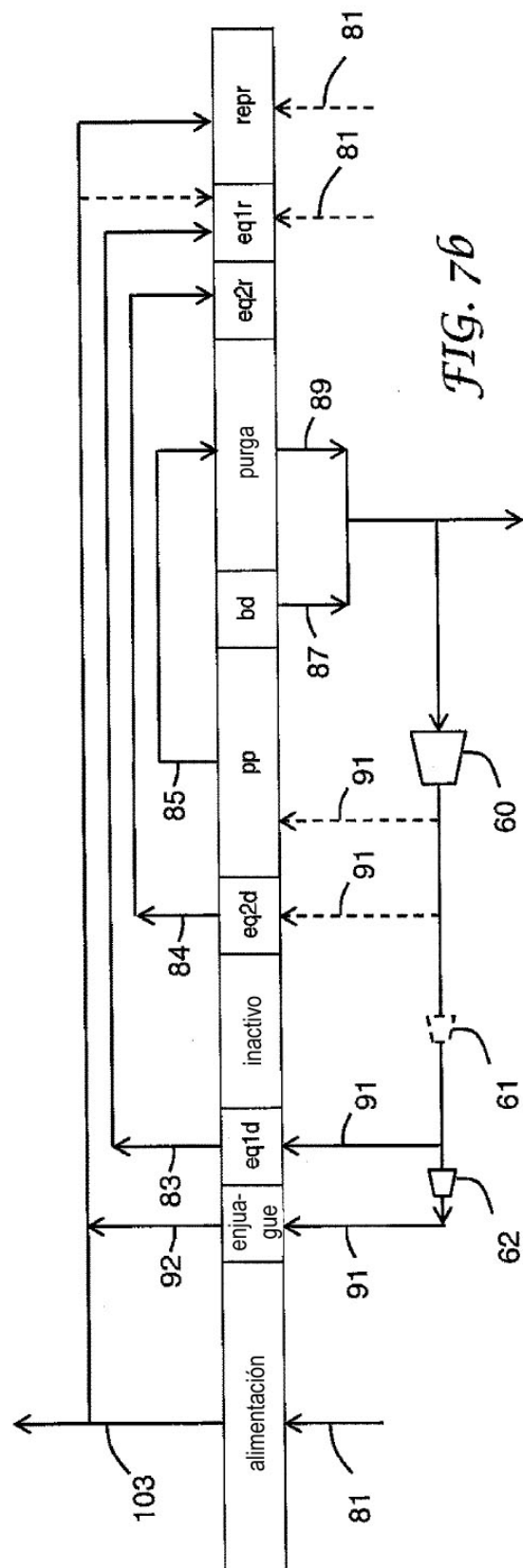


FIG. 6b

alimentación		enjuague	eq1d	inactivo	eq2d	pp		bd	purga	eq2r	eq1r	repr
eq2r	eq1r	repr		alimentación		enjuague	eq1d	inactivo	pp	bd	purga	
bd		eq2r	eq1r	repr		alimentación		enjuague	eq1d	inactivo	pp	
eq2d				purga		eq2r	eq1r	repr	alimentación		enjuague	inactivo
enjuague	eq1d	inactivo	eq2d	pp	bd			eq2r	eq1r	repr	alimentación	

FIG. 7a



alimentación				eq1d	eq2d	pp	eq3d	bd	purga	eq3r	eq2r	inactivo	eq1r	repr		
eq1r	repr			alimentación			eq1d	eq2d	pp	eq3d	bd	purga	eq3r	eq2r	inactivo	
eq3r	eq2r	inactivo	repr			eq1r	alimentación			eq1d	eq2d	pp	eq3d	bd	purga	
eq3d	bd	purga	eq3r	eq2r	inactivo	eq1r	repr			alimentación			eq1d	eq2d	pp	
eq1d	eq2d	pp	eq3d	bd	purga	eq3r	eq2r	bd	inactivo	eq1r	alimentación			eq1r	alimentación	

FIG. 8a

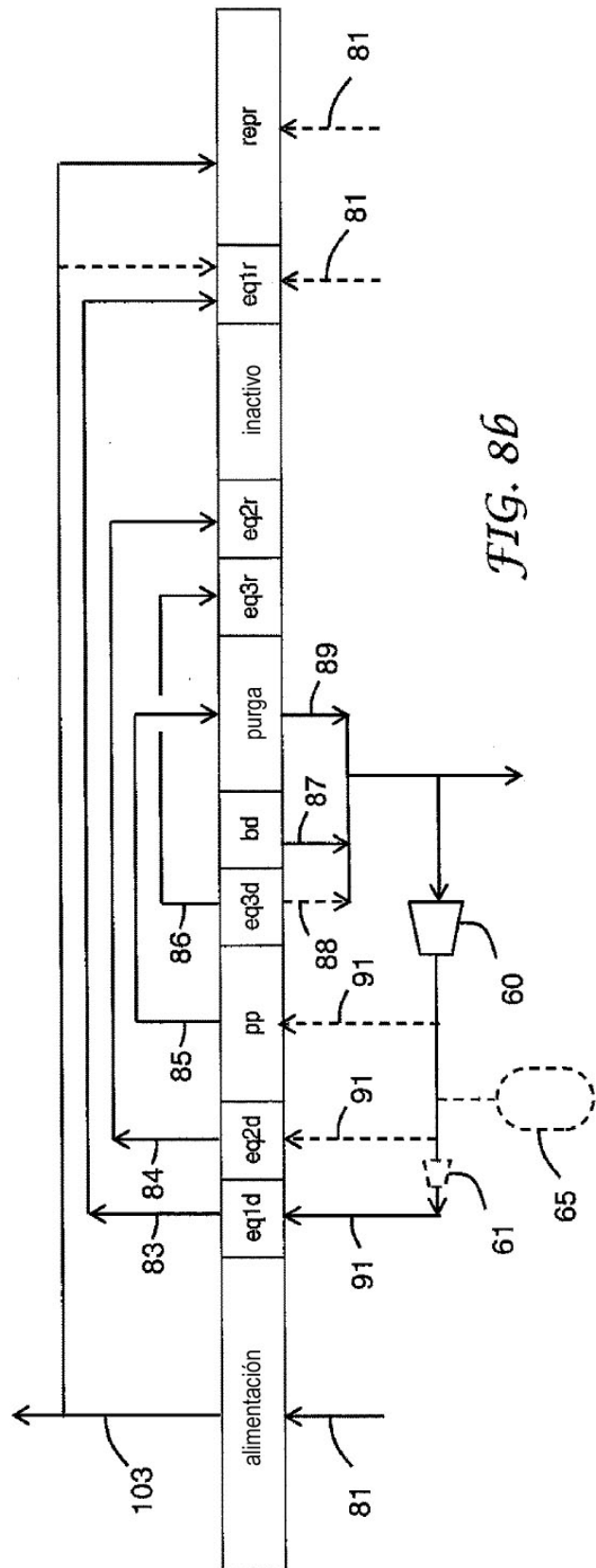


FIG. 8b

alimentación	eq1d	eq2d	eq3d	pp	bd	purga	eq3r	eq2r	eq1r	repr
	eq1r	alimentación	eq1d	eq2d	eq3d	pp	bd	purga	eq3r	eq2r
eq3r	eq2r		eq1r	repr	alimentación	eq1d	eq2d	pp	bd	purga
bd	purga	eq3r	eq2r	eq1r		repr	bd	eq2d	eq3d	pp
eq3d	pp	purga	eq3r	eq2r	eq1r	repr	alimentación	eq1d	eq2d	eq2d
eq1d	eq2d	eq3d	bd	purga	eq3r	repr	eq1r	eq2r	eq1r	alimentación

FIG. 9a

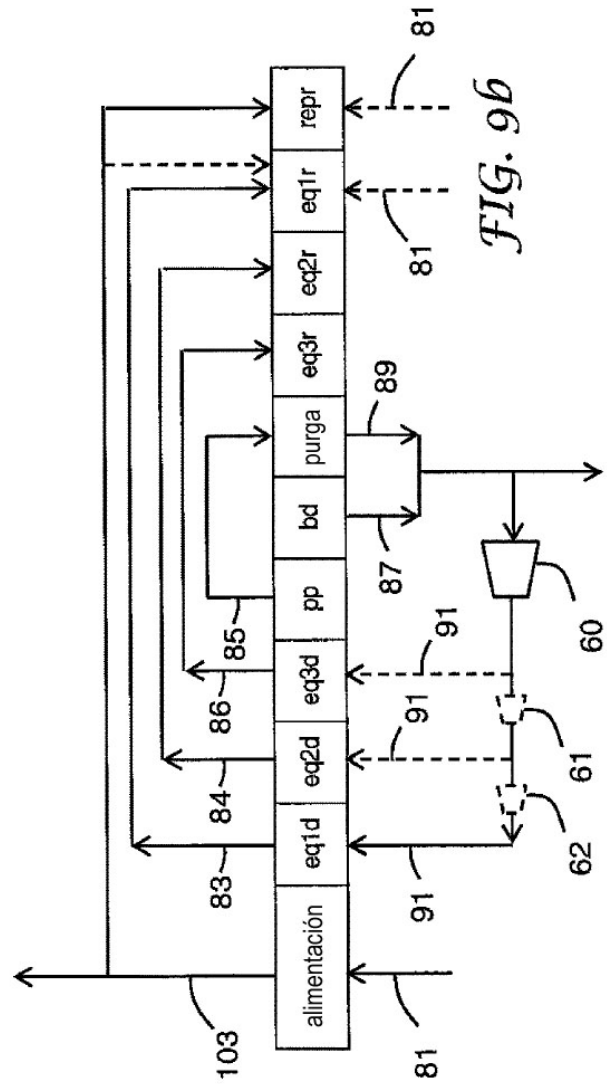


FIG. 96

alimentación	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	eq2r	eq1r	repr
eq1r	repr	alimentación	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	eq2r
purga	eq2r	repr	alimentación	eq1d	eq2d	pp	bd	purga
bd	purga	eq2r	repr	alimentación	eq1d	eq2d	pp	pp
pp	bd	purga	eq2r	repr	alimentación	eq1d	eq2d	eq2d
eq1d	eq2d	pp	bd	purga	eq2r	repr	alimentación	alimentación

FIG. 10a

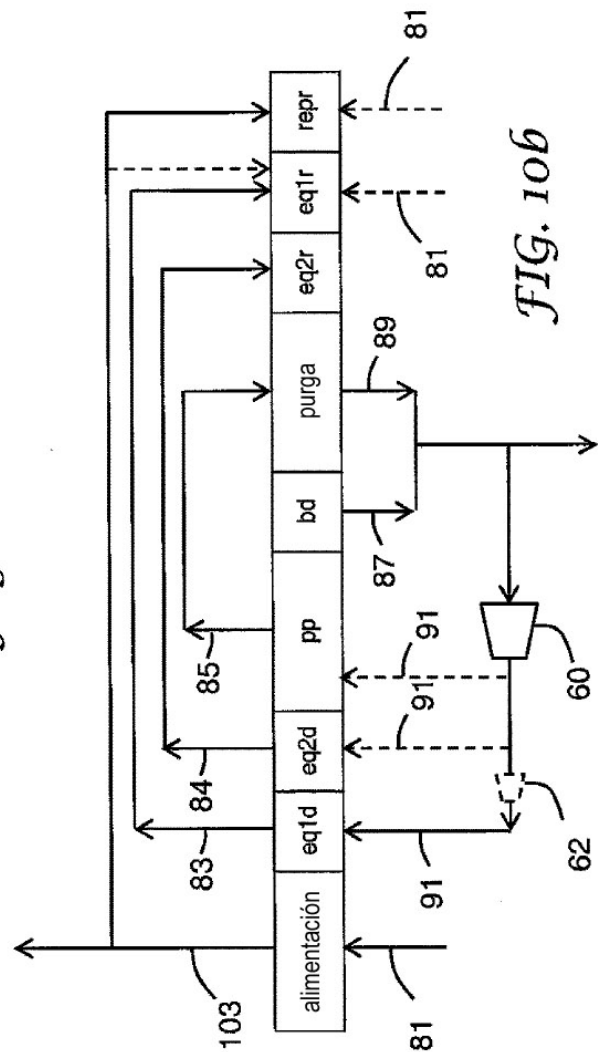


FIG. 10b

alimentación	inactivo	enjuague	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	eq2r	eq1r	repr
eq1r	repr	alimentación	inactivo	enjuague	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	eq2r
purga	eq2r	repr	alimentación	enjuague	eq1d	eq2d	pp	bd		
pp	bd	purga	eq1r	repr	alimentación	inactivo	enjuague	eq2d	eq1d	eq2d
eq1d	eq2d	pp	bd	purga	eq2r	eq1r	alimentación	inactivo	enjuague	
inactivo	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	eq2r	eq1r	repr	alimentación	

FIG. 11a

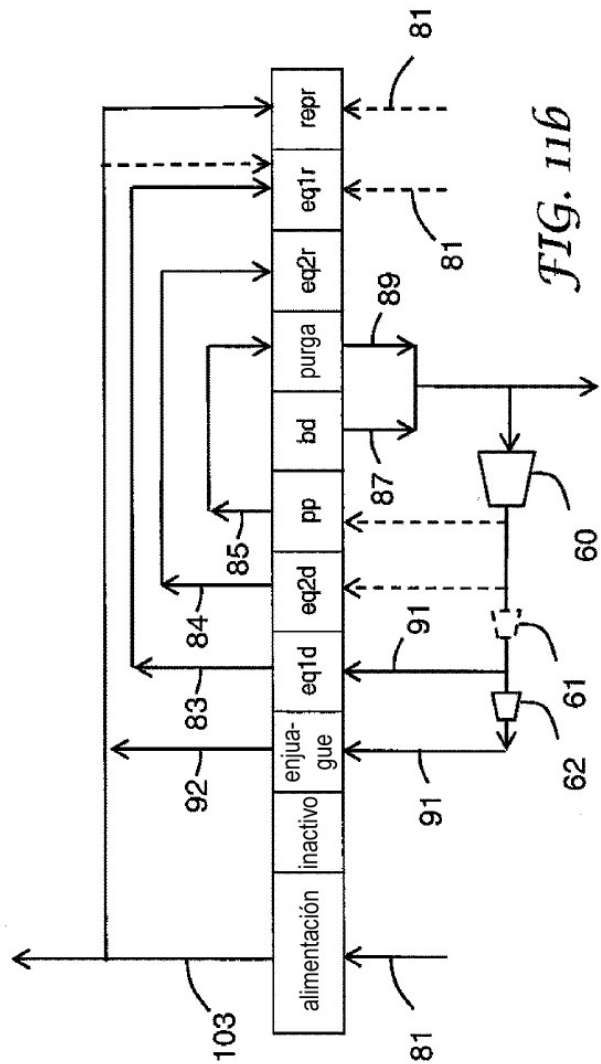
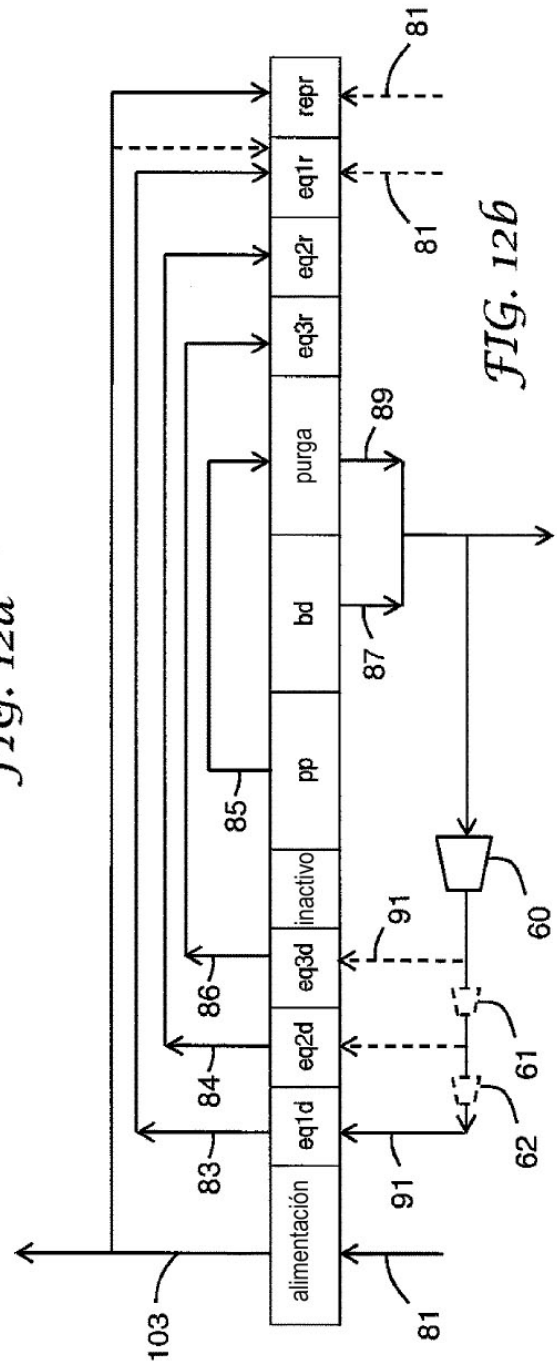


FIG. 11b

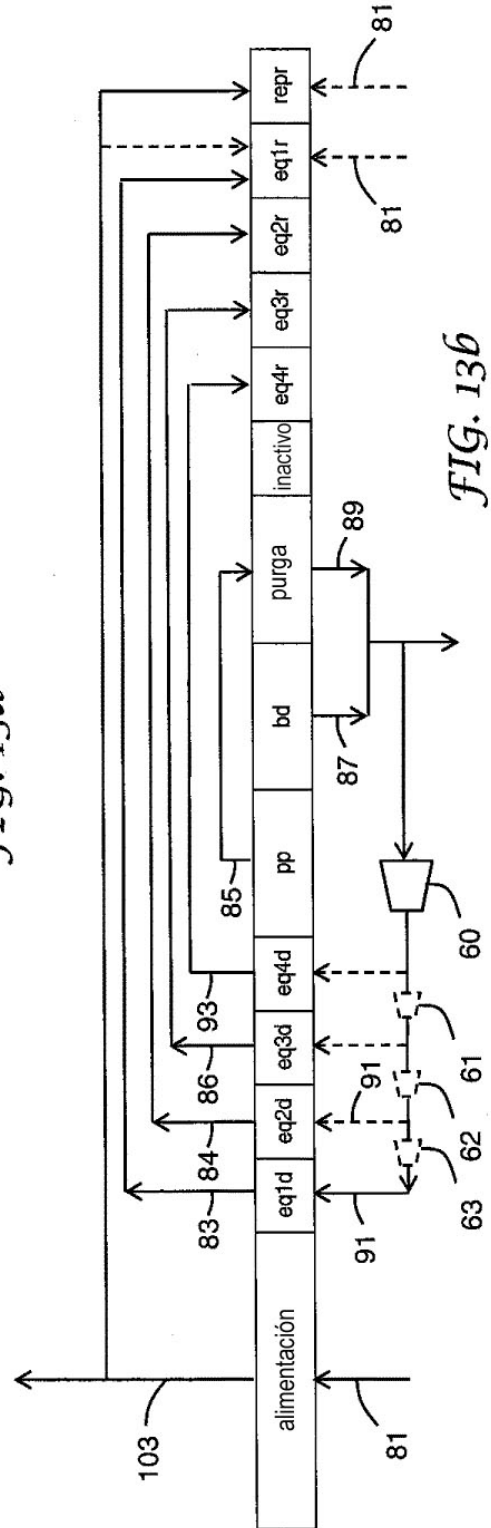
alimentación	eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	pp	bd	purga	eq3r	eq2r	eq1r	repr
eq1r	alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	pp	bd	purga	eq3r	eq2r	
eq3r	eq1r	repr	alimentación	eq1d	eq2d	eq3d	pp	bd	purga		
purga	eq3r	eq2r	eq1r	repr	feed	eq1d	eq2d	eq3d	pp	bd	
bd	purga		eq3r	eq2r	eq1r	alimentación	eq1d	eq2d	eq3d	pp	
pp	bd		purga		eq3r	eq2r	alimentación	eq1d	eq2d	eq3d	inactivo
eq3d	inactivo	pp	bd		purga	eq3r	eq2r	alimentación	eq1d	eq2d	
eq1d	eq3d	inactivo	pp	bd	bd	eq3r	eq2r	eq1r	repr		alimentación

FIG. 12a



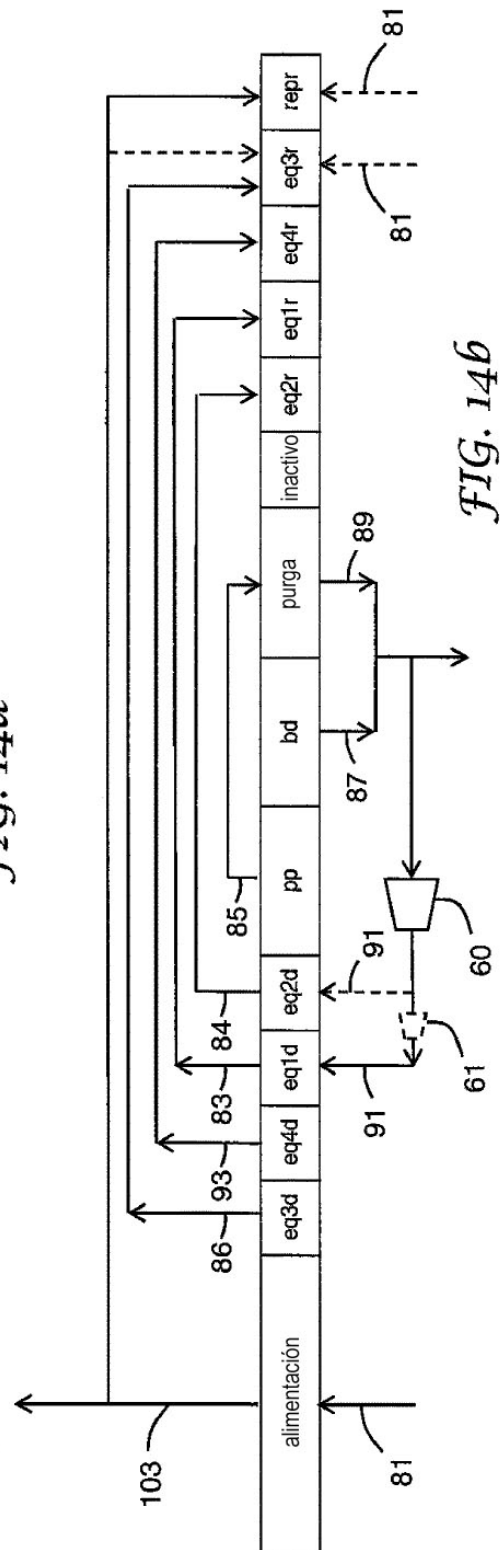
alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r	eq1r	repr
eq1r	repr	alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r
eq3r	eq2r	alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r
inactivo	eq4r	eq3r	eq2r	alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	purga	eq4r	
purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r	eq1r	alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	
bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r	eq1r	repr	alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp
pp	bd	purga		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r
eq3d	eq4d	pp	bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r	eq1r	alimentación		eq1d	eq2d	eq3d
eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r	eq1r	alimentación		eq1d
alimentación		eq1d	eq2d	eq3d	eq4d	pp	bd	purga	inactivo	eq4r	eq3r	eq2r	eq1r	alimentación

FIG. 13a



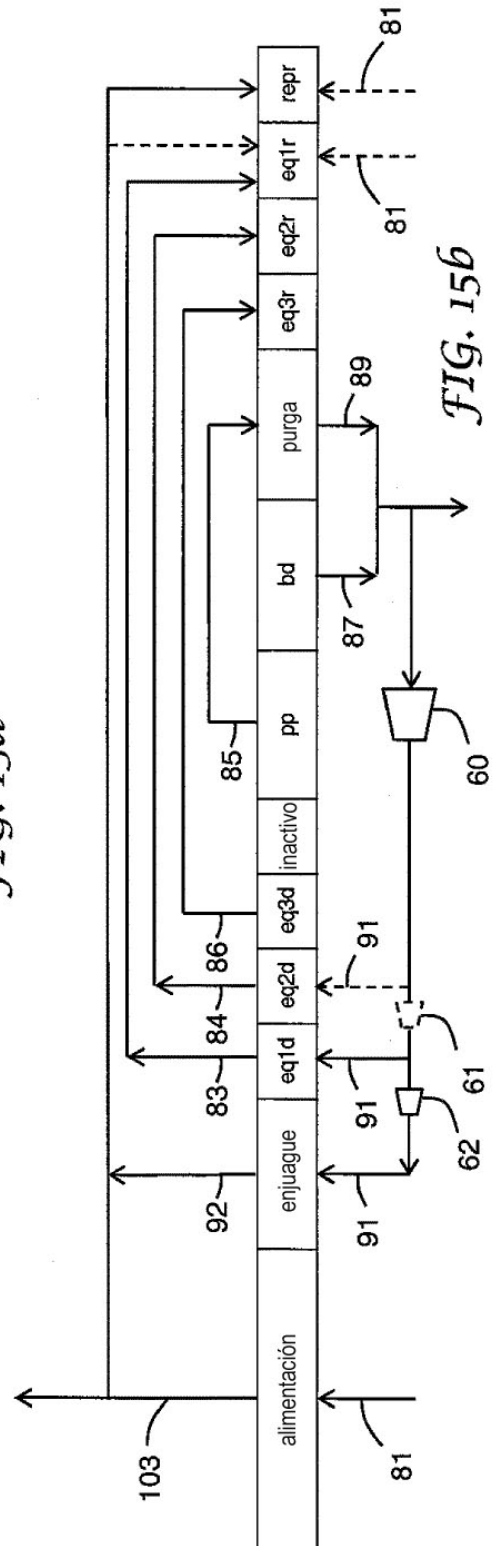
alimentación															eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	eq3r	repr
eq3r	repr		alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	eq3r	repr								
eq1r	eq4r	eq3r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp	purga	bd	inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	eq3r								
idle	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp	bd	purga	inactivo	eq2r	eq1r	eq4r								
purga		inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp	purga											
bd		purga		inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	bd										
pp		bd		purga		inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp								
pp		bd		purga				inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d							
eq1d	eq2d	pp		bd				purga		inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d					
eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp				bd		purga		inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d			
alimentación		eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	pp				bd		purga		inactivo	eq2r	eq1r	eq4r	repr	alimentación				eq3d	eq4d	eq1d	eq2d	

FIG. 14a



alimentación		enjuague		eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	pp	bd	purga	eq3r	eq2r	eq1r	repr
eq1r	repr	alimentación		enjuague		eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	pp	bd	purga	eq3r	eq2r
eq3r	eq2r	eq1r	repr	alimentación		enjuague		eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	pp	purga	
purga		eq3r	eq2r	eq1r	repr	alimentación		enjuague	eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	bd	
bd	purga		eq3r	eq2r	eq1r	repr	alimentación		enjuague	eq1d	eq2d	eq3d	pp	
pp		bd	purga		eq3r	eq2r	eq1r	repr	alimentación		enjuague	eq1d	eq2d	eq3d
eq3d	inactivo	pp		bd		purga		eq3r	eq2r	eq1r	repr	enjuague		eq2d
eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	pp		bd	purga		eq3r	eq2r	eq1r	repr	alimentación	
enjuague		eq3d	inactivo	eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	pp		bd	purga	eq3r	enjuague	
alimentación		enjuague	eq1d	eq2d	eq3d	inactivo	pp		bd	purga	eq3r	eq2r	eq1r	repr

FIG. 15a



[illegible]

FIG. 16a

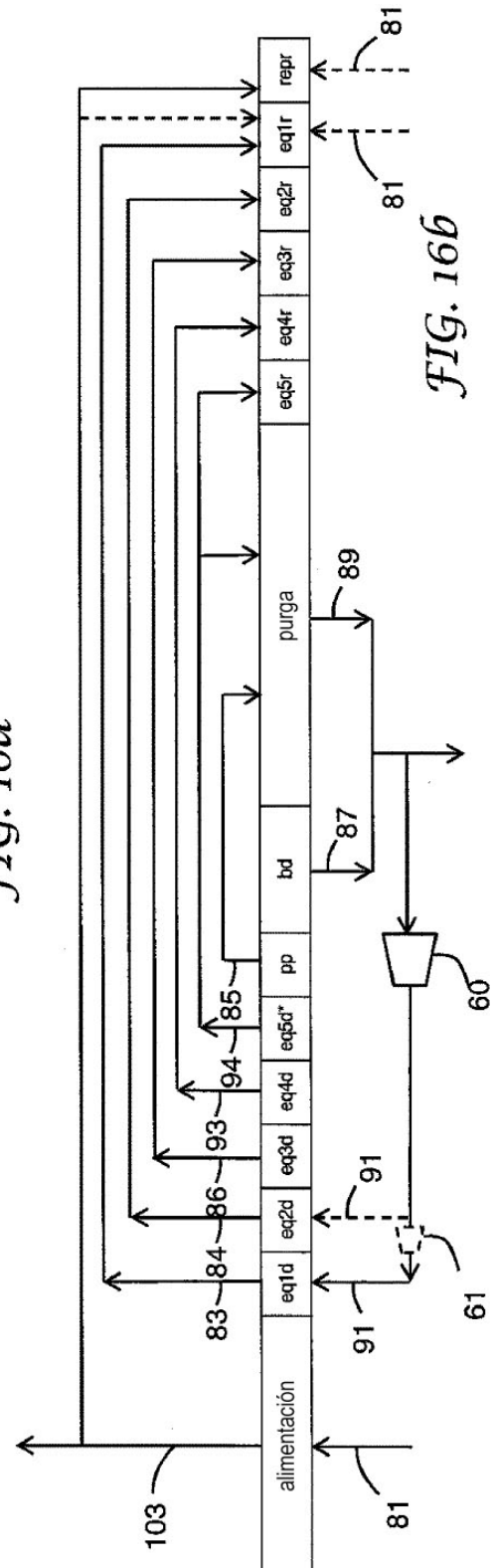


FIG. 16b

[illegible]

FIG. 17a

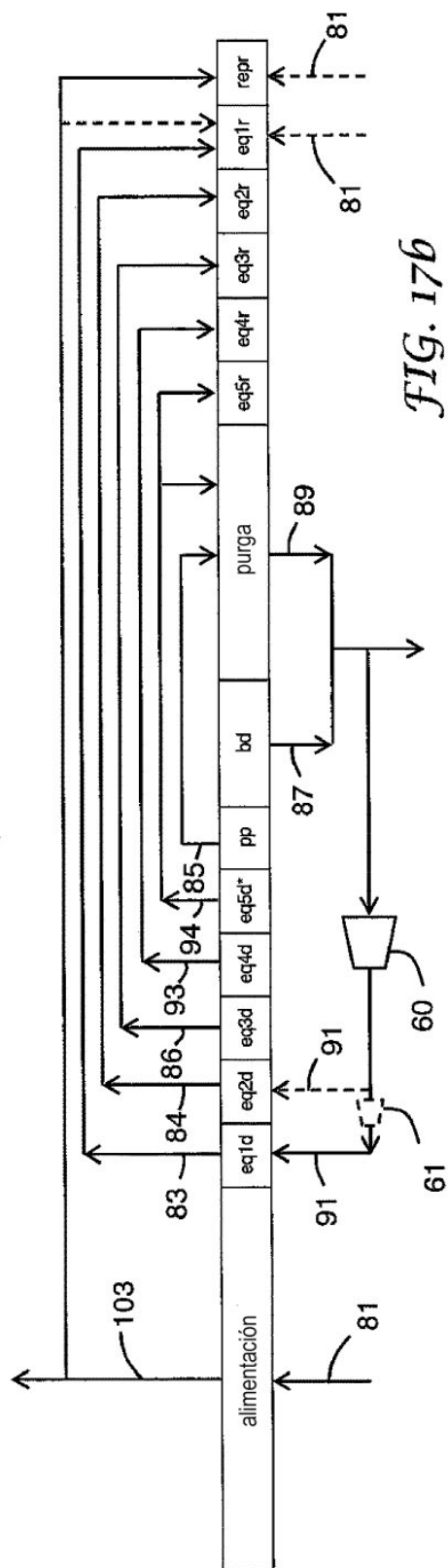


FIG. 17b