



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 346 898**

(51) Int. Cl.:
B01D 53/047 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **06012441 .9**

(96) Fecha de presentación : **16.06.2006**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1736230**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **27.12.2006**

(54) Título: **Método de diagnóstico de operación con válvulas para sistemas de adsorción de oscilación de presión.**

(30) Prioridad: **23.06.2005 US 159530**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.10.2010

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.10.2010

(73) Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US

(72) Inventor/es: **Herb, Blaine Edward;**
Watson, Charles Franklin;
Weist, Edward Landis;
Sabram, Theodore Michael;
Hsu, Kuo-Kuang y
Hoglen, Winfried Stephen

(74) Agente: **Ungría López, Javier**

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

Método de diagnóstico de operación con válvulas para sistemas de adsorción de oscilación de presión.

5 Antecedentes de la invención

La adsorción de oscilación de presión es un método bastante conocido para la separación de mezclas de gas a granel y para la purificación de corrientes de gases que contienen impurezas indeseables. El método se ha desarrollado y adaptado para una amplia gamma de gases de suministros, condiciones operativas, recuperación del producto y pureza de producto. Los sistemas de adsorción de oscilación de presión más grandes (PSA) utilizan múltiples lechos adsorbedores en paralelo operados en ciclos secuenciales escalonados usando etapas de procesos típicas de suministro/adsorción, compensación de presión, despresurización, purga provista, purga y represurización. Estos sistemas PSA se usan ampliamente en industrias de procesos químicos para la recuperación y purificación de productos gaseosos valiosos, tales como, hidrógeno, óxidos de carbono, gas de síntesis, hidrocarburos ligeros y gases atmosféricos.

El diseño de estos sistemas PSA puede presentar retos de operación complejos debido al gran número de válvulas de conmutación requeridas para la operación cíclica de los múltiples lechos adsorbente. Por ejemplo, un sistema PSA de cuatro lechos relativamente simple tiene al menos 24 válvulas mientras que un sistema PSA de diez lechos grandes pueden tener hasta 67 válvulas. La operación para que los sistemas PSA satisfagan las especificaciones de diseño para la recuperación y pureza del producto requiere que estas válvulas operen de forma confiable durante largos periodos de tiempo. Sin embargo, todas las válvulas eventualmente experimentarán algún tipo de disfunción y la sustitución será necesaria. El ensayo y sustitución de las válvulas se puede llevar a cabo durante paradas de mantenimiento programadas, pero es probable que algunas disfunciones de válvula que ocurran entre las parada programadas.

Las disfunciones de válvula pueden incluir, por ejemplo, el fallo de una válvula para abrirse o cerrarse completamente, la baja respuesta de la válvula a las señales de control, la falta de respuesta de la válvula a las señales de control y la fuga a la atmósfera debido a los sellos de vapor defectuosos. Estos tipos de disfunciones se pueden detectar de forma relativamente fácil mediante los operarios especializados de la planta. Otro tipo de disfunción de válvula es la fuga del gas a través de una válvula cerrada debido a la degradación del sello. Este tipo de disfunción es mucho más difícil de detectar que el otro tipo de disfunciones debido a que generalmente ocurre de forma lenta y por lo tanto no es inmediatamente obvia para los operarios de la planta. Cuando los operarios finalmente se dan cuenta de que una válvula tiene una fuga, lo que podría tardar semanas o incluso meses, es una tarea difícil y consume tiempo determinar que válvula es la que presenta la fuga a partir de un análisis de información de procesos disponibles. Este tipo de fuga puede causar una caída en el rendimiento de la planta de PSA debido a la operación desequilibrada de los adsorbedor o debido a la pérdida directa del gas producto. Además, una fuga de este tipo puede progresar eventualmente hasta un punto en el que la planta PSA detiene las líneas de producción, por ejemplo, debido a que la concentración de impurezas en el gas producto excede los límites específicos. Esto da como resultado un tiempo de parada no planeado y una multa económica para el propietario de la planta.

Para identificar las válvulas que tienen un defecto de sello en la posición cerrada, se emplean de forma convencional ensayos de sellos durante las paradas de mantenimiento periódicas. Sin embargo, este tipo de inspección consume tiempo, trabajo y extiende el tiempo de parada, lo que da como resultado, de esta manera, producción pérdida. Además, el tiempo entre las paradas de mantenimiento puede ser de varios meses o incluso de dos o más años.

Existe una necesidad en el campo de la tecnología de separación de gas PSA para mejorar los métodos de operación para detectar e identificar las válvulas que presentan fugas mientras que la planta está en funcionamiento entre las paradas de mantenimiento regulares. Esta necesidad se abarca por las realizaciones de la presente invención descritas a continuación y definidas por las reivindicaciones como sigue.

El documento US 4.234.322 describe un proceso de adsorción de oscilación de presión adiabática para la separación de las mezclas de gas adsorbiendo al menos un componente de gas en cada uno de los al menos ocho lechos adsorbedores operados en fase escalonada. Las válvulas se conmutan de acuerdo a un primer patrón de operación de válvula predeterminado. La conmutación de las válvulas se inicia cuando una primera cantidad física característica ha alcanzado un valor predeterminado. De forma periódica, los valores reales medidos se comparan con los valores nominales correspondientes predeterminados de una segunda cantidad física característica para cada etapa de operación. En el caso de desviaciones de los valores reales con respecto de los valores nominales, las válvulas se identifican siendo potencialmente defectuosas y por lo tanto potencialmente responsables para dichas desviaciones en cualquiera de las etapas de operación posteriores después de la primera ocurrencia de desviación. La primera cantidad física se puede ser un intervalo de tiempo o presión predeterminado. La segunda cantidad física puede ser presión, tiempo o ajuste de válvula.

El documento US 4.299.595 describe un método para operar una instalación adsorbidora de oscilación de presión multi-adsorbidora, con la que tras la detección de una condición de presión, ya sea mediante medición directa de la presión mediante medición de otro parámetro, que se desvía con respecto de un valor de referencia que indica un defecto en un adsorbedor o sus sistemas de válvula o de conducto, el adsorbedor se retira del sistema y los adsorbedores restantes continúan realizando el ciclo o se retienen temporalmente en una fase previa con reajuste de la secuencia de manera que la alimentación y la salida permanecen continuas. Los parámetros de medición pueden ser presión, tiempo y posición de válvula.

El documento EP 086436 describe un método para operar un sistema de adsorción de oscilación de presión, con el que varias cantidades físicas se miden continuamente y en el que la ocurrencia entre los valores medidos y los valores teóricos de estas cantidades se evalúan como una indicación de un defecto en el sistema de adsorción. Los valores medidos pueden ser la presión, ajuste de válvula y tiempo.

Breve resumen de la invención

La invención se refiere a un método para operar un sistema de adsorción con oscilación de presión de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende:

- (a) proporcionar un sistema de adsorción con oscilación de presión que tiene una pluralidad de depósitos adsorbedores en paralelo y una pluralidad de válvulas y colectores de distribución de gas adaptados para introducir gas dentro de cada depósito adsorbedor y retirar el gas desde cada depósito adsorbedor en una serie de ciclos de etapas de procesos secuenciales que incluyen al menos una etapa de suministro, una etapa de despresurización, una etapa de regeneración y una etapa de represurización;
- (b) operar cada uno de los depósitos adsorbedores en la serie de ciclos de las etapas de proceso secuenciales que incluyen al menos la etapa de suministro, la etapa de despresurización, la etapa de regeneración y la etapa de represurización, en el que cada pluralidad de válvulas se abre y se cierra al menos una vez durante la serie de ciclos de las etapas de procesos secuenciales en una secuencia de operación de válvula predeterminada;
- (c) medir un valor de un parámetro de operación seleccionado a partir del grupo que consiste de
 - (1) masa real m_t del gas proporcionado durante el periodo de tiempo t con respecto al depósito adsorbedor receptor durante una etapa de proceso seleccionada, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de procesos.
 - (2) el volumen del gas proporcionado al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de proceso durante el periodo de tiempo t y en el que el volumen del gas se define a cualquier temperatura y presión convencional;
 - (3) un parámetro de transferencia de gas con presión normalizada, G_{pn} , mediante la ecuación

$$G_{pn} = G_p / \Delta P_R$$

en la que G_p es un parámetro de transferencia de gas derivado de la ecuación

$$G_{pn} = f(m_t)$$

en la que m_t es la masa medida del gas proporcionado durante un periodo de tiempo t para el depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso seleccionada, la porción de una etapa de proceso o una serie de etapas de proceso y en la que ΔP_R es el aumento de presión en el depósito adsorbedor que recibe al gas durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de procesos durante el periodo de tiempo t ; y

- (4) un parámetro de transferencia de gas con flujo normalizado, G_{pf} , mediante la ecuación

$$G_{pf} = G_p / G_r$$

en la que G se define como

$$G_r = f(m_{tr})$$

en la que m_{tr} es la masa medida del gas que fluye dentro del depósito receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de proceso durante un periodo de tiempo t ;

- (d) determinar la desviación del valor del parámetro de operación a partir de un valor de referencia predeterminado; y

ES 2 346 898 T3

- (e) usar la magnitud y la dirección de la desviación de (d) para determinar si cualquiera de las válvulas presenta una fuga, en la que (1) cuando el valor absoluto de la desviación de (d) es menor que un valor mínimo predeterminado, ninguna válvula se identifica como que presenta una fuga y (2) cuando el valor absoluto de la desviación de (d) es mayor que el valor mínimo predeterminado, al menos una de la válvulas se identifica como que presenta una fuga.

El parámetro de operación puede un parámetro de transferencia de gas, G_p , definido por la ecuación

$$G_p = f(m_t)$$

en la que m_t es la masa del gas proporcionado durante un periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso seleccionada, porción de una etapa de proceso o series de etapas de proceso.

G_p puede ser igual a (1) la masa real del gas proporcionado durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor durante una etapa de proceso seleccionada, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de procesos; (2) el volumen del gas proporcionado al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o series de etapas de proceso durante el periodo de t en el que el volumen del gas se define a cualquier temperatura y presión convencional.

Como alternativa, el parámetro de operación se puede definir como un parámetro de transferencia con presión normalizada, G_{pn} , mediante la ecuación

$$G_{pn} = G_p / \Delta P_R$$

en la que ΔP_R es el aumento de presión en el depósito adsorbedor que recibe al gas durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o series de etapas de proceso durante el periodo de tiempo t y G_p se define como

$$G_p = f(m_t)$$

en la que m_t es la masa del gas proporcionado al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o series de etapas de proceso durante el periodo de tiempo t .

En esta alternativa, G_p puede ser igual a (1) la masa real del gas proporcionado durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor durante una etapa de proceso seleccionada, porción de una etapa de proceso o series de etapas de proceso; (2) el volumen de gas proporcionado al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o series de etapas de procesos durante el periodo de tiempo t en el que el volumen del gas se define a cualquier temperatura y presión convencional.

La etapa de proceso seleccionada puede ser la etapa de represurización. En este caso, el parámetro de operación puede ser un parámetro de transferencia de gas con presión normalizada, G_{pn} , definido por la ecuación

$$G_{pn} = G_p / \Delta P_R$$

en la que ΔP_R es el aumento de presión en el depósito adsorbedor durante el periodo de tiempo t que recibe al gas de represurización durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización y G_p es igual al volumen del gas proporcionado durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización y en la que el volumen de gas se define a una temperatura y presión seleccionada.

La serie de ciclos de las etapas de procesos secuenciales puede incluir una etapa de compensación en la que se despresuriza un depósito adsorbedor retirando un gas de despresurización desde el mismo e introduciendo el gas de despresurización dentro de un depósito adsorbedor receptor que se aumenta en presión.

La etapa de proceso seleccionada puede ser la etapa de depuración o la etapa de purga. En estos casos, el parámetro de operación puede ser un parámetro de transferencia de gas, G_p , definido por la ecuación

$$G_p = f(m_t)$$

en la que m_t es una masa del gas descargado desde un depósito adsorbedor durante la etapa de depuración o la etapa de purga.

Otra realización de la invención se refiere a un método como se ha descrito anteriormente, en el que durante la etapa de suministro un gas de suministro que comprende hidrógeno y uno o más componentes de impureza se introduce dentro de cada uno de los depósitos adsorbedores, el gas de suministro se hace pasar a través del depósito adsorbedor para adsorber al menos una porción del uno o más componentes de impureza y un gas producto de hidrógeno purificado se retira del depósito adsorbedor.

La etapa de proceso seleccionada puede ser la etapa de represurización y el gas de represurización puede ser una porción del gas producto de hidrógeno purificado. En este caso, el parámetro de operación puede ser un parámetro de transferencia de gas con presión normalizada, G_{pn} , definido por la ecuación:

$$G_{pn} = G_p / \Delta P$$

en la que ΔP es el aumento de presión en el depósito adsorbedor que recibe al gas producto de hidrógeno purificado durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización durante el periodo de tiempo t y G_p es igual al volumen del gas producto de hidrógeno purificado proporcionado al depósito adsorbedor durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización durante el periodo de tiempo t y en la que el volumen de gas se define a una temperatura y presión seleccionada.

En esta realización, las series de ciclos de las etapas de proceso secuenciales pueden incluir una etapa de compensación en la que se despresuriza un depósito adsorbedor retirando un gas de despresurización desde el mismo e introduciendo el gas de despresurización dentro de otro depósito adsorbedor que está a una menor presión que el depósito adsorbedor que se está despresurizando. En un caso más particular, las serie de ciclos de las etapas de proceso secuenciales pueden incluir una etapa de compensación en la que un depósito adsorbedor se despresuriza inmediatamente después de su etapa de suministro retirando un gas de despresurización desde el mismo e introduciendo el gas de despresurización en otro depósito adsorbedor inmediatamente después de su etapa de represurización.

Breve descripción de varias vistas de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de flujo de proceso de un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos ilustrativo.

La Figura 2 es un gráfico del ciclo y perfil de la presión en el lecho para un proceso de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos que tiene un lecho en suministro y dos etapas de compensación de presión.

La Figura 3 es una porción alargada de la Figura 1 que muestra uno de los lechos.

La Figura 4A es un gráfico de diagnóstico para la identificación de las válvulas que presentan fugas durante la etapa de Represurización usando el ciclo PSA de la Figura 2.

La Figura 4B es un gráfico de diagnóstico para la identificación de las válvulas que presentan fugas durante la etapa de Compensación 2 que usa el ciclo PSA de la Figura 2.

La Figura 5 es un gráfico de diagnóstico generalizado para la identificación de las válvulas que presentan fuga durante las etapas de Compensación 2 y de represurización que usa el ciclo de PSA de la Figura 2.

La Figura 6A es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para un control de línea de base de referencia de la etapa de Represurización en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos que no tiene válvulas que presenten fugas

La Figura 6B es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para un control de línea de base de referencia de la etapa de Compensación 2 (Despresurización - Represurización) en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos que no tiene válvulas que presenten fugas.

La Figura 7A es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para la Represurización en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 25 en la Figura 1 (válvula de gas residual sobre el lecho B) a una fuga intencionada.

La Figura 7B es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para la etapa de Compensación 2 (Despresurización - Represurización) en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 25 en la Figura 1 (la válvula de gas residual sobre el lecho B) a una fuga intencionada.

La Figura 8A es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para la Represurización en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 23 en la Figura 1 (la válvula EQ1 sobre el lecho B) a una fuga intencionada.

La Figura 8B es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para la etapa de Compensación 2 (Despresurización - Represurización) en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 23 en la Figura 1 (la válvula EQ1 sobre lecho B) a una fuga intencionada.

5 La Figura 9A es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para la Represurización en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 24 en la Figura 1 (válvula de purga provista - EQ2 sobre el lecho B) a una fuga intencionada.

10 La Figura 9B es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para la etapa de Compensación 2 (Despresurización - Represurización) en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 24 en la Figura 1 (la válvula EQ2 - purga provista sobre el lecho B) a una fuga intencionada.

15 La Figura 10A es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para de la etapa de Represurización en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 21 en la Figura 1 (la válvula de suministro sobre el lecho B) a una fuga intencionada.

20 La Figura 10B es un gráfico de G_{pn} frente al tiempo real para la etapa de Compensación 2 (Despresurización - Represurización) en un sistema de adsorción con oscilación de presión de cuatro lechos cuando se sometió la válvula 21 en la Figura 1 (la válvula de suministro el lecho B) a una fuga intencionada.

Descripción detallada de la invención

25 Las realizaciones de la presente invención proporcionan métodos de diagnóstico para detectar e identificar las válvulas que presentan fugas durante la operación de los sistemas PSA determinando uno o más parámetros de operación definidos que son funciones de la cantidad de gas transferido entre los adsorbedores, introducido dentro de un adsorbedor o transferido desde un adsorbedor a un depósito receptor durante las etapas de proceso específicos y comparar estos parámetros de operación definidos con los valores de referencia. La determinación y comparación se puede llevar a cabo de forma continua (es decir, para cada ciclo) o de forma periódica. En una realización, por ejemplo, la determinación y comparación se puede llevar a cabo durante un periodo de ensayo diario. La desviación de los parámetros determinados de forma continua con respecto a los valores de referencia indica la presencia de fuga en una válvula, y la interpretación de estos parámetros durante un número de ciclos de operación define una válvula específica o un pequeño conjunto de válvulas específicas en el que se sospecha que existe la fuga.

35 Las realizaciones incluyen también métodos de caracterizar la operación de los sistemas PSA a fin de identificar una válvula o válvulas que presentan fuga de forma específica. En la presente descripción, una fuga de una válvula se define como un flujo indeseable de fluido a través de una válvula que se dirige para estar cerrada durante un periodo específico en un ciclo PSA. La fuga se puede producir por cualquier anomalía mecánica y operativa en la válvula. Por ejemplo, un sello de válvula puede no estar funcionando apropiadamente debido al desgaste o ensamble inapropiado, causando de esta manera una fuga a través de la válvula. En otro ejemplo, los sistemas mecánicos, eléctricos o de control pueden funcionar mal de tal manera que una válvula que debería estar cerrada no está de hecho completamente cerrada, causando de esta manera una fuga a través de la válvula.

45 Los sistemas PSA utilizan múltiples lechos adsorbedores en paralelo operados en ciclos secuenciales escalonados usando las etapas de proceso de suministro/adsorción, compensación de presión, despresurización, purga provista, purga y represurización. La presión máxima durante un ciclo típicamente está por encima de la presión atmosférica y la presión mínima durante el ciclo puede estar por encima, igual a, o menor que la presión atmosférica. La transferencia de gas entre los lechos adsorbedores ocurre durante la compensación de presión, purga/purga provista y etapas de represurización. Como se describirá con más detalle a continuación, una etapa de compensación de presión transfiere gas desde un lecho a una presión menor hasta otro lecho a una presión mayor y, una etapa de purga provista proporciona gas desde de un lecho a una presión menor a otro lecho que se está purgando a una presión menor relativamente constante. Durante una etapa de represurización, una porción del gas producto desde un lecho o lechos (dependiendo del número de lechos de la etapa de suministro/adsorción a cualquier tiempo dado) se transfiere a un lecho a menor presión que se está represurizando. Los parámetros que son funciones de la cantidad de gas transferida entre los adsorbedores durante ciertas etapas de procesos, particularmente de compensación y represurización, se pueden usar como se describe a continuación para determinar e identificar las válvulas que presentan fugas en el sistema. Las etapas de depuración y de purga también se pueden usar para esta determinación.

60 Un parámetro de transferencia de gas G_p , se puede definir como un parámetro que es una función de y que se deriva de la masa de gas transferido durante una etapa de transferencia de gas del PSA, la porción de una etapa de transferencia de gas o una serie de etapas de transferencia de gas en el que el gas se transfiere hasta un lecho adsorbedor que está aumentando en presión desde uno o más de otros lechos adsorbedores. El parámetro de transferencia de gas se define como

$$65 \quad G_p = f(m_t)$$

en la que m_t es la masa del gas proporcionado para la transferencia durante una etapa de transferencia de gas, la porción de una etapa de transferencia de gas o series de etapas de transferencia de gas durante el periodo de tiempo t . Una etapa de transferencia de gas se define como una etapa de proceso en un ciclo PSA durante la que el gas se transfiere desde un depósito adsorbedor hasta otro depósito adsorbedor o hasta un depósito receptor de gas.

La expresión $G_p = f(m_t)$ tiene el significado matemático usual en el que el parámetro dependiente de la variable G_p tiene cualquier relación matemática a (es decir, es una función de) la variable independiente m_t . Esta relación, por ejemplo, puede ser lineal o no lineal. La expresión "masa de gas proporcionado para transferencia" significa una masa medida, calculada o inferida del gas obtenida a partir de uno o más lechos adsorbedores para transferirse a otro lecho adsorbedor o a un depósito receptor de gas, tal como, un tanque de equilibrio. La masa del gas proporcionado para la transferencia será la misma que la masa del gas recibido por el lecho receptor (o depósito) si no existen válvulas que presenten fugas a lo largo del recorrido de la trayectoria del flujo de gas desde el lecho proporcionador hasta el lecho receptor. Si existen válvulas que presenten fugas, la masa del gas proporcionado por la transferencia será diferente a la masa del gas recibido por el lecho receptor.

El valor de G_p puede ser la masa real del gas definido durante un periodo de tiempo t mediante la salida integrada de un medidor de flujo de masa o mediante la salida de un medidor de flujo de masa de totalización y puede tener unidades, por ejemplo, de gramos, gramos-moles, libras, libras-moles. Como alternativa, el valor de G_p puede ser el volumen del gas proporcionado para la transferencia durante el periodo de tiempo t como se ha definido por la salida integrada de un medidor de flujo volumétrico o por la salida de un medidor de flujo volumétrico de totalización y puede tener unidades de, por ejemplo, pies cúbicos convencionales o metros cúbicos convencionales definidos en un conjunto de condiciones convencionales. Las condiciones convencionales se pueden definir de la forma usual en cualquier combinación seleccionada de presión y temperatura, por ejemplo, una atmósfera absoluta y 15,6°C (60°F).

En otra alternativa, el valor de G_p se puede definir durante el periodo de tiempo t por la salida de señal integrada de un medidor de flujo sin convertir la masa real o las unidades de volumen y puede tener unidades de, por ejemplo, microvoltios-segundos. En una alternativa diferente, el valor de G_p se puede definir durante el periodo de tiempo t mediante la caída de presión integrada a través de un medidor de flujo con placa de orificio sin convertir la masa real o las unidades de volumen y puede tener las unidades de, por ejemplo psi-segundo, o kPa-segundos. En otra alternativa posible, el valor de G_p se puede determinar durante el periodo de tiempo t mediante un equilibrio de masas (es decir, de forma indirecta por inferencia o cálculo) usando los caudales medidos y las composiciones de corrientes de procesos PSA seleccionadas. Por ejemplo, la cantidad de gas proporcionado para la transferencia a un lecho que se somete a la represurización de un producto se puede calcular a partir de las composiciones y caudales del gas suministrado y del gas producto, y por lo tanto tendría las mismas unidades usadas en el equilibrio de masas.

Por tanto G_p se puede definir en cualquiera de las unidades medidas o calculadas en las que la medición o cálculo es una función y se derive del flujo de masa del gas proporcionado para la transferencia de un lecho adsorbedor durante un periodo de tiempo t . El valor de G_p puede depender de la ubicación específica en la planta de proceso de PSA en la que se hace la medición y/o puede depender de que corriente de proceso se use en el cálculo.

Un parámetro relacionado que se puede usar en el presente método para detectar e identificar las válvulas que presentan fugas en un sistema de PSA en funcionamiento es el parámetro de transferencia de gas con presión normalizada definido como

$$G_{pn} = G_p / \Delta P_R = [f(m_t)] / \Delta P_R$$

en el que ΔP_R es el aumento de presión en un lecho adsorbedor [véase abajo] que recibe la transferencia del gas durante el periodo de tiempo t . El uso del parámetro de transferencia de gas con presión normalizada reduce el potencial para la interferencia de cambios de presión externamente inducidos en los procesos de PSA con el método de diagnóstico para identificar las válvulas que presentan fugas. Tales cambios de presión externamente inducidos pueden incluir, por ejemplo, cambios en la presión de suministro, en la presión de descarga del gas residual, en el tiempo del ciclo de PSA, en presión del tambor de equilibrio, cambios en la presión inicial de una etapa dada debido a una fuga durante una etapa anterior, cambios en el tiempo de ciclo o cambios en la velocidad de producción de la planta.

Las etapas de proceso de PSA ventajosas para la aplicación de las realizaciones de la presente invención son la etapa de represurización de producto y la etapa de compensación o las etapas siguientes a la etapa de purga. Los efectos de las dinámicas de adsorción en los cambios de presión que ocurren en un lecho son generalmente pequeños para las etapas que transfieren un gas que contiene una baja concentración de impurezas a un lecho adsorbente regenerado que contiene una muy poca carga de impurezas adsorbidas. El uso de estas etapas para los métodos de diagnósticos descritos en la presente memoria puede hacer que el análisis y la interpretación de los resultados sean menos complejos y más factibles que las etapas en las que las dinámicas de adsorción son significantes. En general, las etapas de proceso de PSA más ventajosas para su uso en estos métodos de diagnóstico son las etapas con las duraciones más largas y las etapas que producen los diferenciales de presión más grande a través de las válvulas cerradas.

En ciertas situaciones de operación, puede ser deseable usar la etapa de depuración o la etapa de purga para los métodos de diagnóstico descritos en la presente memoria. La mayoría de los sistemas de PSA utilizan un tanque de

equilibrio para recibir el gas de depuración y de purga de desecho y suministrar un flujo controlado del gas de desecho desde el tanque de equilibrio hasta un equipo aguas abajo, por ejemplo, como gas de combustible. En esta realización, se puede usar un equilibrio de material en el tanque de equilibrio para calcular el valor del parámetro G_p para usarse en el método de diagnóstico en el que la cantidad de gas transferido al tanque desde un lecho durante su etapa de depuración o purga se determina como la suma del cambio inventario de gas en el tanque durante la etapa de depuración o purga y el caudal integrado del gas de desecho retirado desde el tanque durante la etapa de depuración o de purga.

Bien sea uno o ambos de los parámetros G_p y G_{pn} se determinan y se registran durante múltiples ciclos de operación de PSA con válvulas libres de fugas, y los valores de referencia de estos parámetros se obtienen durante la etapa o etapas de procesos apropiadas para caracterizar la operación libre de fugas. Como alternativa, los valores de referencia de estos parámetros se pueden determinar mediante la simulación de procesos usando valores apropiados de variables de proceso. Durante cada etapa posterior o durante las etapas seleccionadas de un número significativo de ciclos de PSA, el valor del parámetro para dicha etapa se controla y se compara con el valor de referencia. Una falta de desviación con respecto del valor de referencia indica la ausencia probable de válvulas que presenten fuga. Se ha descubierto que una desviación observada por encima del valor mínimo predeterminado, indica sin embargo, una alta probabilidad de válvulas que presentan fugas en algún sitio del sistema. Las válvulas controladas de G_p y G_{pn} usadas desviaciones determinadas con respecto de los valores de referencias deben ser precisas y reproducibles.

Como se describe en detalle a continuación, la identificación inicial de una válvula que presenta fuga o de un grupo de válvulas que contienen una válvula que presenta fuga dependerá de que etapa de ciclo se use y de la localización específica de las mediciones o cálculos del flujo de gas usados para determinar los valores de los parámetros G_p y/o G_{pn} .

Las realizaciones de la presente invención se pueden usar con cualquier sistema de PSA cíclico usando cualquier número de lechos adsorbedores y cualquiera de las etapas de procesos, incluyendo los ciclos de PSA con o sin etapas inactivas. Las realizaciones de la presente invención se pueden aplicar a los sistemas de PSA para la separación de cualquier mezcla de gas y se pueden usar, por ejemplo, en (1) la producción de hidrógeno de alta pureza a partir de una mezcla de gas que contiene H_2 y una o más impurezas a partir del grupo que consiste de CO , CH_4 y CO_2 (2) en la purificación de helio que contiene una o más impurezas a partir del grupo que consiste de CH_4 , N_2 , O_2 y Ar y (3) en la separación de aire.

Los artículos indefinidos “un” y “una” como se ha usado en la presente memoria significan uno o más cuando se aplican a cualquier elemento de las realizaciones de la presente invención descritos en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones. El uso de “un” y “una” no limita el significado a un solo elemento a menos que un límite de este tipo se mencione específicamente. Los artículos definidos “el/la” que preceden a los sustantivos singulares o plurales o frases de sustantivos designan un elemento particularmente especificado o elementos particularmente especificados y pueden tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se usan. El adjetivo “cualquier/cualquiera” significa uno, algunos, o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad.

Un ciclo y sistema de PSA ejemplar para ilustrar estas realizaciones es el sistema de cuatro lechos bastante conocido que usa un ciclo con un lecho adsorbedor durante la etapa de suministro/adsorción a cualquier tiempo dado con dos o etapas de compensación de presión. Un diagrama de flujo de proceso esquemático para este sistema se muestra en la Figura 1. Cuatro depósitos adsorbedores A, B, C y D contienen cada uno un lecho de uno o más materiales adsorbentes seleccionados para la adsorción de uno o más componentes en una mezcla de gas de suministro. Estos lechos se conectan en paralelo mediante seis colectores de distribución separados para la introducción del gas de suministro, la transferencia del gas entre los adsorbedores y la retirada del gas de desecho del sistema. El gas de suministro se introduce por medio del colector de distribución del gas del suministro 1 y el gas producto se retira por medio del colector de distribución del gas producto 2. Una porción del gas producto se dirige dentro del colector de distribución de represurización 6 para la represurización final de cada adsorbedor como se describe a continuación. Los colectores de distribución de transferencia de gas 3 y 4 se usan para transferir el gas entre los adsorbedores durante las etapas de purga provista y de compensación de presión. Por ejemplo, el colector de distribución 3 se puede usar para transferir el gas entre los adsorbedores en una primera etapa de compensación presión y el colector de distribución 4 se puede usar para transferir el gas entre los adsorbedores en una segunda etapa de compensación de presión y en una etapa de purga provista.

Cada colector de distribución se conecta a los adsorbedores mediante las válvulas para controlar el flujo del gas durante las varias etapas del ciclo. El colector de distribución del gas de suministro 1 se conecta a los adsorbedores A, B, C y D mediante las válvulas 11, 21, 31 y 41 por medio de las líneas 19, 29, 39 y 49, respectivamente. El colector de distribución del gas residual 5 se conecta a los adsorbedores A, B, C y D mediante las válvulas 15, 25, 35 y 45 por medio de las líneas 19, 29, 39 y 49 respectivamente. El colector de distribución del gas producto 2 se conecta a los adsorbedores A, B, C y D mediante las válvulas 12, 22, 34 y 42 por medio de las líneas 17, 27, 37 y 47, respectivamente. El colector de distribución del gas de represurización 6 se conecta en los adsorbedores A, B, C y D mediante las válvulas 16, 26, 36 y 46 por medio de las líneas 17, 27, 37 y 47 respectivamente. El flujo de gas al colector de distribución del gas de represurización 6 se puede controlar mediante la válvula de medición 51. El primer colector de distribución del gas de compensación de presión 4 se conecta en los adsorbedores A, B, C y D mediante las válvulas 14, 24, 34 y 44 por medio de las líneas 17, 27, 37 y 47 respectivamente. El segundo colector del gas compensación de presión y de gas de purga provista 3 se conecta a los adsorbedores A, B, C y D mediante las válvulas 13, 23, 33 y 43 por medio de las líneas 17, 27, 37 y 47, respectivamente.

El número de colectores de distribución se puede modificar si se desea para simplificar las tuberías del sistema o reutilizar diferentes ciclos de PSA. Por ejemplo, el colector de distribución de represurización 6 y la válvula de medición 51 se podrían eliminar haciendo que las válvulas 16, 26, 36 y 46 sean válvulas de medición y conectándolas directamente en el colector de distribución del gas producto 2. Como alternativa, el colector de distribución 3 podría eliminarse y el colector de distribución 6 podría usarse tanto para las etapas de represurización como para EQ1. En otro ejemplo, el número de colectores de distribución del gas de compensación se puede incrementar o disminuir si el número de etapas de compensación se incrementa o se disminuye.

El medidor de flujo 53 opcional se puede usar para medir el caudal del gas de represurización y enviar una señal proporcional al caudal hasta una entrada de datos central y sistema de control (no mostrado) por medio de la línea señal 57. La presión en cada adsorbedor se puede medir mediante los dispositivos de medición de presión 18, 28, 38 y 48 y las señales proporcionales a las presiones se pueden enviar hasta una entrada de datos central y al sistema de control (no mostrado) por medios de las líneas de señal 18a, 28a, 38a y 48a.

Los métodos de diagnóstico descritos en la presente memoria se pueden usar para identificar las fugas en cualquiera de las válvulas que no se usen comúnmente durante todas las etapas en el ciclo de PSA. Por ejemplo, la válvula 51 de la Figura 1 se usa normalmente debido a que siempre existe un lecho durante la etapa de represurización. Los malos funcionamientos de la válvula 51, por lo tanto, no se pueden identificar mediante estos métodos de diagnóstico debido a que esta válvula está normalmente abierta; el método se puede usar sólo para detectar que una válvula presenta fuga cuando ésta está cerrada. Si una válvula común estuviera cerrada durante alguna etapa en el ciclo, sería posible sin embargo detectar una fuga en dicha válvula durante el periodo cuando está cerrada.

Un proceso y ciclo de PSA ejemplar adecuado para usarse con el sistema de la Figura 1 y con las realizaciones de la presente invención se ilustra en la Figura 2. La porción superior de la Figura 2 es un gráfico del ciclo para el proceso ejemplar que muestra las etapas para cada uno de los lechos adsorbedores como una función del tiempo y que ilustra la relación del tiempo de las etapas entre los cuatro lechos. Las diez etapas de ciclo se describen a continuación en el orden en que ocurre en el lecho adsorbedor A.

1. Suministro

La mezcla de gas suministrado se hace pasar a través del colector de distribución de suministro 1, dentro la válvula 11 y la línea 19 y a través del lecho A y uno o más componentes de la mezcla de gas de suministro se adsorben por material adsorbente en su interior. El gas producto purificado, que no se adsorbe en el lecho, se retira por medio de la línea 17, la válvula 12 y el colector de distribución del gas producto 2. Las válvulas 13, 14, 15 y 16 permanecen cerradas durante esta etapa. La presión del gas en el colector de distribución de producto 2 es menor que la presión en el colector de distribución del gas de suministro 1 debido a la caída de presión en el lecho A y la tubería asociada.

2. Compensación 1 (Despresurización)

Las válvulas 11 y 12 se cierran y la válvula 13 se abre, y un adsorbedor A se despresuriza retirando un gas primer gas de despresurización por medio de la línea 17, la válvula 13 y el colector de distribución 3. Este primer gas de despresurización se introduce por medio del colector de distribución 3, la válvula 33 y la línea 37 dentro del lecho C a fin de aumentar la presión en su interior durante su primera etapa de compensación (represurización). Las válvulas 31, 32, 34, 35 y 36 permanecen cerradas durante esta etapa. El lecho C se define como un depósito adsorbedor receptor y el lecho A se define como un lecho que proporciona gas durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor. Esta etapa puede opcionalmente superponerse con la etapa de Represurización (véase etapa 10 a continuación) en la que el lecho C recibe también el gas producto para aumentar la presión del lecho.

3. Inactivación

El adsorbedor A se aísla cerrando la válvula 13 y se inactiva durante el periodo mostrado. Esto es una etapa opcional y se requiere en este ciclo particular debido a la mayor duración de la etapa de depuración (descrita a continuación) en el lecho D con relación a las etapas EQ1 en los lechos A y C.

4. Purga provista

La válvula 14 se abre y el lecho A se despresuriza adicionalmente retirando el gas por medio de la línea 17, la válvula 14 y el colector de distribución 4. Este gas se introduce por medio de la válvula 44 y la línea 47 para proporcionar el gas de purga al lecho D que está siendo purgado por medio de la válvula 45 dentro del colector de distribución del gas residual 5.

5. Compensación 2 (Despresurización)

La válvula 14 permanece abierta y el adsorbedor A se despresuriza adicionalmente retirando un segundo gas de despresurización por medio de la línea 17, válvula 14 y el colector de distribución 4. Este segundo gas de despresurización se introduce por medio del colector de distribución 4, la válvula 44 y la línea 47 dentro del lecho D a fin de represurizar el lecho D durante su segunda etapa de compensación (represurización). La válvula 45 del lecho D se

ES 2 346 898 T3

cierra durante esta etapa. El lecho D se define como un depósito adsorbedor receptor y el lecho A se define como un lecho que proporciona gas durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor.

6. *Depuración*

La válvula 14 se cierra, la válvula 15 se abre y el lecho A se despresuriza adicionalmente retirando el gas de desecho por medio de la línea 19, la válvula 15 y el colector de distribución del gas residual 5 hasta un tanque de equilibrio (no mostrado). Durante esta etapa, una porción de las impurezas adsorbidas se desorben y se retiran en el gas de desecho. El lecho A se define como el lecho que proporciona gas durante el periodo de tiempo t a este tanque de equilibrio, que se define como un depósito receptor.

7. *Purga*

El lecho A se purga abriendo las válvulas 14 y 15 para recibir el gas de purga proporcionado a partir del lecho B por medio de la línea 27, la válvula 24, el colector de distribución 4, la válvula 14 y la línea 17. Durante esta etapa, las impurezas adsorbidas residuales en el lecho A se desorben y se retiran como un gas residual de purga por medio de la línea 19, la válvula 15 y el colector de distribución del gas residual 5. Las etapas de depuración y de purga se pueden definir en combinación como una etapa de regeneración.

8. *Compensación 2 (Represurización)*

La válvula 15 se cierra y la válvula 14 se abre para recibir el gas de represurización compensación desde el lecho B, que está sometido a su etapa de Compensación 2 (Despresurización). El lecho A se represuriza inicialmente recibiendo este gas por medio de la línea 27, la válvula 24, el colector de distribución 4, la válvula 14 y la línea 17. El lecho A se define como un depósito adsorbedor receptor y el lecho B se define como un lecho que proporciona gas durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor.

9. *Compensación 1 (Represurización)*

La válvula 14 se cierra y la válvula 13 se abre para recibir el gas de represurización de compensación desde el lecho C, que está sometido a su etapa de Compensación 1 (Despresurización). El lecho A se represuriza además recibiendo este gas por medio de la línea 37, la válvula 33, el colector de distribución 3, la válvula 13 y la línea 17. Opcionalmente, el lecho A también puede recibir el gas producto de represurización de forma simultánea desde el colector de distribución 6 por medio de la válvula 16 durante un periodo de superposición con la etapa de represurización descrita a continuación. El lecho A se define como un depósito adsorbedor receptor y el lecho B se define como un lecho que proporciona gas durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor.

10. *Represurización*

La válvula 13 se cierra, la válvula 16 se abre (o permanece abierta si estaba opcionalmente abierta en la etapa 9), y el lecho A recibe el gas producto de represurización final desde el colector de distribución de represurización 6 por medio de la válvula 16. Durante esta etapa, el lecho D proporciona el gas producto al colector de distribución 2, cuya porción se retira por medio del colector de distribución 6 como el gas de represurización. El lecho A se define como un depósito adsorbedor receptor y el lecho D se define como un lecho que proporciona gas durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor.

Las etapas 2, 5, 8 y 9 se describen en la presente memoria como etapas de compensación de presión, aunque las presiones en los dos lechos que están intercambiando gas pueden no ser exactamente iguales, en realidad, al final de la etapa. La duración de todo el ciclo de etapas 1 a 10 puede estar en el intervalo de 10 a 15 minutos. En el gráfico del ciclo ilustrado en la Figura 2, la duración de las etapas se muestra en una proporción aproximada para propósitos ilustrativos. La duración de la etapa de suministro es un cuarto de la duración de todo el ciclo, las duraciones de las etapas de compensación y de inactivación son aproximadamente un quinto de la duración de la etapa de suministro, las duraciones de las etapas de purga, de purga de provista y de depuración son aproximadamente dos quintos de la duración de la etapa de suministro y la duración de la etapa de represurización es aproximadamente cuatro quintos de la duración de la etapa de suministro. Las duraciones de las etapas (distintas a la etapa de suministro) con respecto a tiempo de ciclo total se pueden ajustar como se desee. La presión de la etapa de suministro puede estar en el intervalo de 20 a 30 bar gauge (barg). La presión mínima, es decir, la presión de depuración, puede estar en el intervalo de 0 a 1 barg. La presión de la etapa de Compensación 1 es menor que la presión de suministro y puede estar en el intervalo de 15 a 25 barg. La presión de la etapa de Compensación 2 es menor que la presión de suministro y puede estar en el intervalo de 5 a 10 barg.

Los lechos B, C y D proceden a través de etapas idénticas descritas anteriormente para el lecho A, pero el ciclo en cada lecho se escalona por un $\frac{1}{4}$ (es decir, la duración de la etapa de suministro o de adsorción) como se observa en la Figura 2. El gráfico del ciclo de la Figura 2 ilustra claramente cómo las etapas en el lecho A se relacionan con las etapas de los lechos B, C y D. Estas relaciones se describen a continuación con referencia al $\frac{1}{4}$ o de ciclo que ocurre durante la etapa de suministro del lecho A (es decir, etapa 1), en el que el $\frac{1}{4}$ de ciclo se divide en periodos con duraciones a, b, c y d.

ES 2 346 898 T3

Periodo a

Lecho A: durante el periodo a, la válvula 11 se abre y el lecho A está en una primera etapa de suministro/adsorción paralela, en la que la mezcla de gas de suministro se introduce por medio del colector de distribución de suministro 1, la válvula 11 y la línea 19 dentro de la entrada del lecho A en la presión de suministro. El gas del suministro fluye en paralelo a través del lecho (es decir, desde la entrada del lecho hasta la salida del lecho). La válvula 12 se abre y el gas producto purificado se retira al colector de distribución del producto 2.

Lechos B y D: durante el periodo a, el lecho D se somete a su primera etapa de Compensación 1 (Despresurización), en la que se despresuriza en paralelo transfiriendo gas a la salida del lecho B que está en su etapa de Compensación 1 (represurización). El lecho B se represuriza contracorriente mediante el gas transferido del lecho D. De forma opcional, el gas producto de represurización fluye por medio de la válvula de control 51 y el colector de distribución 6 se introduce también dentro del lecho B. Durante el periodo a, las válvulas 23 y 43 se abren y se abre de forma opcional la válvula 26. Durante este periodo, la presión del lecho D cae a un valor intermedio que se puede definir como una presión en equilibrio. De forma similar, la presión del lecho B aumenta a este valor intermedio si se permite tiempo suficiente para toda la compensación de presión. Como alternativa, se puede usar la compensación parcial, en la que la etapa se termina antes de que las presiones en cada lecho sean iguales.

Lecho C: durante el periodo a, el lecho C se somete a su primera porción de su etapa de depuración contracorriente, en la que el lecho se despresuriza descargando el gas de desecho a través de la válvula abierta 35 dentro del colector de distribución del gas residual 5.

Periodo b

Lecho A: durante el periodo b, el lecho A continúa en su etapa de suministro siguiendo el periodo a.

Lecho B: durante el periodo b, el lecho B recibe (o continúa recibiendo) el gas de represurización producto en un flujo contracorriente por medio de la válvula 26 y la línea 27 desde el colector de distribución de represurización y de la válvula de control de flujo 51.

Lecho D: continúa la etapa de Compensación 1 (Despresurización) del periodo a, el lecho D se aísla cerrando y manteniendo cerradas las válvulas 41 a 46. Esto es una etapa opcional y se requiere en este ciclo particular debido a la larga duración de la etapa de depuración en el lecho C con respecto a las etapas de Compensación 1 en los lechos A y C. Durante esta etapa de inactivación, la presión en el lecho D se puede medir y registrar de forma opcional si se desea. Si las válvulas 41 a 46 son herméticas a fugas en el estado de cierre, se estabilizará y se mantendrá constante la presión en el lecho D.

Lecho C: durante el periodo b, el lecho C continúa su etapa de depuración mientras que descarga el gas de desecho a través de la válvula abierta 35 dentro del colector de distribución del gas residual 5, y el lecho alcanza la presión más baja del ciclo al final de esta etapa.

Periodo c

Lecho A: durante el periodo c, el lecho A continúa con su etapa de suministro siguiendo los periodos a y b.

Lecho B: durante el periodo c, el lecho B continúa su etapa de Represurización que comenzó durante el periodo b.

Lecho C: durante el periodo c, el lecho C se purgó de las impurezas en la presión de ciclo más baja en una dirección contracorriente con el gas proporcionado por el lecho D, que disminuye en presión durante la etapa de purga provista. Las válvulas 34, 35 y 44 se abren para introducir el gas de purga dentro del lecho C y para descargar el gas residual de purga desde el lecho C dentro del colector de distribución del gas residual 5.

Lecho D: durante el periodo c, el lecho D está en su etapa de Purga Provista y se despresuriza en contracorriente por medio de la válvula 44 para suministrar el gas de purga al lecho C por medio del colector de distribución 4.

Periodo d

Lecho A: durante el periodo d, el lecho A continúa con su etapa de suministro siguiendo los periodos a, b y c.

Lecho B: durante el periodo d, el lecho B continúa con su etapa de Represurización que comenzó durante el periodo b.

Los lechos C y D: durante el periodo d, el lecho C se represuriza mediante el gas que se suministra desde el lecho D que se está despresurizando. Durante la represurización, las impurezas en el lecho C se empujan en una dirección contracorriente hacia el extremo de entrada del lecho. Las válvulas 34 a 44 se abren y el gas fluye por medio del colector de distribución 4.

La porción inferior de la Figura 2 muestra un perfil típico de la presión en el lecho A a través del ciclo descrito anteriormente. Este perfil de presión se puede usar para caracterizar las presiones o los intervalos de presiones del gas en cada uno de los seis colectores de distribución de la Figura 1, lo que es información útil al diagnosticar las fugas en las válvulas como se describe a continuación. La mayor presión existe en el colector de distribución del gas de suministro 1 como se muestra. La presión en el colector de distribución del gas producto 2 es menor que aquella del colector de distribución del gas de suministro, diferenciándose aproximadamente por la caída de presión en cada lecho adsorbente y tuberías asociadas. La presión en el colector de distribución de represurización 6 se cierra a aquella del colector de distribución del gas residual 2 o un lecho de la etapa de Represurización, pero puede ser ligeramente menor debido a la caída de presión a través de la válvula 51 (si se usa). Dependiendo de las caídas de presión a través de las válvulas y tuberías, el intervalo de presión (identificado como EQ1 en la Figura 2) en el colector de distribución de transferencia de gas 3 puede ser menor que aquel en el colector de distribución de represurización 6, el intervalo de presión, (definido como EQ2 - purga provista en la Figura 2) en el colector de distribución de transferencia de gas 4 puede ser menor que aquel del colector de distribución de transferencia de gas 3, y el intervalo de presión en el colector de distribución del gas residual 5 puede ser menor que aquel en el colector de distribución de transferencia de gas 4. La presión en el colector de distribución del gas residual 5 se determina mediante la presión en un tanque de equilibrio aguas abajo (no mostrado) y la caída de presión a través de la válvula de gas residual y de la tubería del colector de distribución. Las presiones en los colectores de distribución de transferencia de gas 3 y 4 variarán durante las etapas del ciclo a medida que procede la etapa de compensación, mientras que las presiones en los colectores de distribución 1 (suministro), 2 (producto), 5 (gas residual), y 6 (represurización) tendrán una variabilidad mínima.

La determinación de los valores de los parámetros G_p y G_{pn} se puede ilustrar con referencia al diagrama de flujo ejemplar de la Figura 1 y al gráfico del ciclo ejemplar de la Figura 2. En una realización, el parámetro de transferencia de gas, G_p se puede determinar durante un periodo de tiempo t , que corresponde a la duración de la etapa de represurización 10 en el lecho A. En esta realización, la masa o el volumen del gas transferido desde el colector de distribución de represurización 6 dentro del lecho A se mide mediante un medidor de flujo 53 y puede estar en unidades de peso o de volumen por unidad de tiempo si el medidor de flujo tiene provisiones para convertir la medición del instrumento real (por ejemplo, caída de presión) a estas unidades para la transmisión mediante la línea de señal 57 hasta la entrada de datos central y el sistema de control (no mostrado). La integración de estos caudales indicados durante el periodo de tiempo de la etapa de represurización otorgará el valor real del parámetro de transferencia de gas G_p . La integración se puede llevar a cabo mediante la entrada de datos central y el sistema de control o mediante el medidor de flujo 53 si está equipado con capacidad de totalización de flujo. Como alternativa, si la señal desde el medidor de flujo 53 transmitida por medio de la línea de señal 57 es una señal eléctrica (por ejemplo, milivoltios) proporcional al flujo de masa a través del medidor de flujo, esta señal se puede integrar durante el periodo de tiempo de la etapa de represurización para otorgar un valor alternativo del parámetro de transferencia de gas G_p .

El aumento de presión en el lecho A durante la etapa de represurización se mide mediante el dispositivo de medición de presión 18, que puede ser, por ejemplo, un transductor de presión. Esta diferencia de presión, ΔP_R , puede ser caracterizado en unidades de presión reales si el dispositivo de medición de presión 18 convierte las mediciones actuales (por ejemplo, una señal eléctrica milivoltios) a las unidades de presión o como alternativa se puede caracterizar en las unidades medidas actuales (por ejemplo, milivoltios). Como alternativa, la salida de señal del dispositivo 18 se puede convertir a unidades de presión mediante la entrada de datos central y el sistema de control. El valor determinado de D_p se usa después como el valor determinado de G_p para calcular el parámetro de transferencia de gas con presión normalizada, G_{pn} , para la etapa de represurización. Los valores de G_p y G_{pn} pueden tener varias unidades como se ha descrito anteriormente, y estas unidades dependerán de las unidades del flujo de las mediciones de flujo y de presión.

Si la etapa de represurización inicialmente se superpone con la etapa de Compensación 1 (Represurización) como se ha descrito anteriormente, los valores de G_p y G_{pn} se determinan solo para aquella porción de la etapa de represurización que sigue el periodo de superposición.

Como alternativa, los parámetros de G_p y G_{pn} se pueden determinar para el lecho A durante la etapa 9, la etapa de Compensación 1 (Represurización). En esta etapa, el gas de presurización se transfiere desde el lecho C hasta el lecho A por medio del colector de distribución 3. Durante esta etapa, la cantidad de gas proporcionado por el lecho C se puede caracterizar por el cambio de presión en dicho lecho durante la etapa como se ha determinado por el dispositivo de medición de presión 38, que puede ser, por ejemplo, un transductor de presión. Esta diferencia de presión, ΔP_D , se puede caracterizar en unidades de presión reales si el dispositivo de medición de presión 38 convierte las mediciones reales (por ejemplo, una señal eléctrica en milivoltios) a las unidades de presión o se pueden caracterizar en las unidades de medición reales (por ejemplo, milivoltios). Como alternativa, la salida de señal del dispositivo 38 se puede convertir en unidades de presión mediante la entrada de datos central y el sistema de control. El valor determinado de ΔP_D es después el valor de G_p (no de acuerdo con la invención) y caracteriza la cantidad de gas proporcionado por el lecho C durante esta etapa. Si el gas de represurización producto también se introduce en el lecho A desde el colector de distribución 6 por medio de la válvula 16, la cantidad de este gas se puede caracterizar integrando el flujo medido por el medidor de flujo 53 durante esta etapa. El valor de G_p es después la suma del gas proporcionado a partir del lecho C y desde el colector de distribución de represurización del gas producto 6 usando las mismas unidades características.

El aumento de presión en el lecho A durante esta etapa de Compensación 1 (Represurización) se mide como se ha descrito anteriormente mediante el dispositivo de medición de presión 18, que puede ser, por ejemplo, un transductor

de presión. Esta diferencia de presión, ΔP_R , se puede caracterizar en unidades de presión reales si el dispositivo de medición de presión 18 convierte las mediciones reales (por ejemplo, una señal eléctrica en milivoltios) a unidades de presión o se puede caracterizar en la unidad de medición real (por ejemplo, milivoltios). Como alternativa, la salida de señal del dispositivo 18 se puede convertir en unidades de presión mediante la entrada de datos central y el sistema de control. Los valores determinados de ΔP_R se usan después (no de acuerdo con la invención) con el valor determinado de G_p , es decir, ΔP_D , para calcular el parámetro de transferencia de gas con presión normalizada como

$$G_{pn} = \Delta P_D / \Delta P_R$$

para la etapa de Compensación 1 (Represurización) del lecho A.

Como alternativa, los parámetros G_p y G_{pn} se pueden determinar para el lecho A durante la etapa 8, la etapa de Compensación 2 (Represurización). En esta etapa, el gas de represurización se transfiere desde el lecho C hasta el lecho b por medio del colector de distribución 3. Los parámetros se pueden determinar mediante un método análogo a aquel descrito anteriormente para la etapa EQ1.

Una vez que se seleccionan los métodos de determinación de G_p y G_{pn} y se definen las unidades a usarse, se puede dar inicio a una operación de línea base del sistema de PSA de la Figura 1. Primero, se confirma el estado libre de fugas de todas las válvulas del sistema, por ejemplo, haciendo un ensayo acerca de las fugas de las válvulas durante una parada de mantenimiento. Después el sistema se pone en marcha y se opera de acuerdo a la Figura 2 durante un número de ciclos repetidos para determinar los valores de referencia libres de fugas de G_p y/o G_{pn} para cada lecho de la etapa o etapas de ciclo seleccionadas. Como se ha mencionado anteriormente, el uso del parámetro de transferencia de gas con presión normalizada G_{pn} es ventajoso debido a que induce el potencial para la interferencia de los cambios de presión externamente inducidos en el proceso de PSA con el método de diagnóstico para identificar las válvulas que presentan fugas. Tales cambios de presión externamente inducidos pueden incluir, por ejemplo, cambios en la presión de suministro, cambios en la presión de descarga del gas residual, operación o control de válvula lenta o inapropiada que causa calidades incompletas e inconsistentes de compensación de presión y fugas en un lecho durante una etapa anterior.

Una vez que se determinan los valores de referencia de G_p y/o G_{pn} para cada lecho para la etapa de ciclo seleccionada, los valores se almacenan en la entrada de datos centrales y en el sistema de control. En cada ciclo sucesor, los valores de G_p y/o G_{pn} se determinan y se comparan con los valores de referencia. Si no existen desviaciones con respecto a los valores de referencia, o si los valores absolutos de las desviaciones están dentro de un intervalo predeterminado, no se identifica ninguna válvula con fugas y se concluye que no existen válvulas que presenten fugas por lo que no puede detectarse una proporción de fuga. Si se observa que los valores absolutos de las desviaciones con respecto a los valores de referencia son mayores que la cantidad predeterminada, sin embargo, se concluye que existen válvulas que presentan fugas en algún lugar en el sistema y se identifican las válvulas que presentan fugas. Una determinación de diagnóstico de las válvulas que pueden presentar fugas se elabora usando la magnitud y la dirección de las desviaciones observadas. Como se explica más adelante, la determinación de diagnóstico depende de (1) la locación o locaciones específicas en las que se realizan las mediciones de flujo para determinar los valores de G_p y/o G_{pn} y (2) las direcciones de las desviaciones, es decir, positiva o negativa con respecto a los valores de referencia.

Las presiones relativas en los colectores de distribución de gas afectarán este análisis de diagnóstico. La mayor presión existe en el colector de distribución del gas de suministro 1, como se muestra en la Figura 2. Dependiendo de las caídas de presión a través de las válvulas y tuberías, la presión en el colector de distribución del gas producto 2 puede ser menor que aquella del colector de distribución del gas de suministro debido a la caída de presión en cada lecho adsorbedor y las válvulas y tuberías asociadas. La presión del colector de distribución de represurización 6 debería estar próxima a aquella del colector de distribución de producto 2, pero puede ser ligeramente menor debido a la caída de presión a través de la válvula 51 (si se usa). El intervalo de presión del colector de distribución de transferencia de gas 3 (identificado como EQ1 en la Figura 2) puede ser menor que el colector de distribución de represurización 6, el intervalo de presión en el colector de distribución de la transferencia de gas 4 (identificado como EQ2 - Purga Provista en la Figura 2) puede ser aquel del colector de distribución de transferencia de gas 3 y el intervalo de presión en el colector de distribución del gas residual puede ser menor que aquel en el colector de distribución de transferencia de gas 4 y es generalmente la presión más baja del ciclo. Las presiones en los colectores de distribución de transferencia de gas 3 y 4 variarán durante las etapas del ciclo a medida que proceden las etapas de compensación, mientras que las presiones en los colectores de distribución 1 (suministro), 2 (producto), 5 (gas residual) y 6 (represurización) tienen generalmente una variabilidad mínima. La presión en el colector de distribución 4 (EQ2 - Purga Prevista) nunca excede las presiones del colector de distribución 3 (EQ1) o en el colector de distribución 6 (Represurización). Estas presiones relativas se pueden determinar o confirmar mediante las mediciones de presión en un sistema de operación real.

Cuando el lecho A está en la etapa de Represurización, las mediciones del caudal de gas en la locación del medidor de flujo 53 (Figura 1) permitirán diagnosticar posibles fugas a través de las válvulas cerradas 26, 36 y 46 conectadas al colector de distribución de represurización 6 y otras fugas posibles a través de las válvulas cerradas 11, 12, 13, 14 y 15 asociadas con el lecho A. Como analogía, cuando el lecho B está en la etapa de Represurización, la medición del caudal de gas en la locación del medidor de flujo 53 (Figura 1) permitirá diagnosticar posibles fugas a través de las válvulas cerradas 16, 36 y 46 conectadas al colector de distribución de represurización 6 y posibles fugas a través

de las válvulas cerradas 21, 22, 23, 24 y 25 asociadas con el lecho B. Además, como analogía adicional, cuando el lecho C está en la etapa de Represurización, la medición del caudal de gas en la locación del medidor de flujo 53 (Figura 1) permitirá diagnosticar posibles fugas a través de las válvulas cerradas 16, 26 y 46 conectadas al colector de represurización 6 y posibles fugas a través de las válvulas cerradas 31, 32, 33, 34 y 35 asociadas con el lecho C.

5 Finalmente, como analogía adicional, cuando el lecho D está en la etapa de Represurización, la medición del caudal de gas en la locación del medidor de flujo 53 (Figura 1) permitirá diagnosticar posibles fugas a través de las válvulas cerradas 16, 26 y 36 conectadas al colector de distribución de represurización 6 y posibles fugas a través de las válvulas cerradas 41, 42, 43 44 y 45 asociados con el lecho D.

10 Una ilustración más detallada del lecho A se muestra en la Figura 3, que es una porción alargada de la Figura 1. Por ejemplo, cuando el lecho A está en su etapa de Represurización, una fuga a través de la válvula 11 estará en la dirección mostrada, es decir, en el lecho A incrementando de esta manera la presión en el lecho A. Una fuga a través de la válvula 15 estará en la dirección mostrada, por ejemplo, fuera del lecho A disminuyendo de esta manera la presión en el lecho A. Una fuga a través de la válvula 13 estará en la dirección mostrada, es decir, fuera del lecho A, disminuyendo de esta manera la presión en lecho A. Una fuga a través de la válvula 12 estará en la dirección mostrada, es decir, en el lecho A, aumentando de esta manera la presión en el lecho A. Una fuga a través de la válvula 14 estará en la dirección mostrada, es decir, fuera del lecho A. Las presiones en estos colectores de distribución se pueden medir para confirmar en qué dirección las válvulas presentarán fugas. Eso podría ser una forma de refinar los gráficos de diagnostico descritos a continuación. La presión del colector de distribución se puede medir directamente o se puede

15 estimar a partir de un análisis de caída de presión en base a las presiones de los dos lechos que se equilibren. Esto se muestra en la porción inferior de la Figura 2, que sobrepone el perfil de presión en el colector de distribución de compensación 4 sobre el perfil de presión en el lecho A durante su etapa de Represurización.

Observaciones similares se pueden elaborar para cada uno de los lecho B, C y D cuando cada lecho está en la etapa de Represurización y en la etapa de Compensación 1 (Represurización). Estas observaciones para los lechos A, B, C y D se pueden usar después en conexión con los valores controlados de los parámetros de transferencia de gas G_p y G_{pn} para desarrollar tablas de diagnósticos de válvulas para identificar una válvula cerrada que presente fugas o un grupo de válvulas cerradas (en el que se sospecha que existen fugas) en el que una válvula presenta una válvula como se describe a continuación.

30 En este método de análisis, se asume que solo una válvula presenta fugas a fin de desarrollar las tablas de diagnostico. Puede ser posible desarrollar tablas de diagnósticos que apliquen si dos válvulas presentan fugas al mismo tiempo; sin embargo, estas serán más complejas y más difíciles de interpretar. El objetivo en el método presente es corregir fugas de válvulas individuales cuando ocurren en un principio y por lo tanto evitar una situación con múltiples fugas en las válvulas.

Como una alternativa a o además de medir el flujo de represurización mediante el medidor de flujo 53 (Figura 1), se puede instalar un medidor de flujo en cada lecho, por ejemplo, el medidor de flujo 59 sobre el lecho A como se muestra en la Figura 3. En esta alternativa, las válvulas 26, 36 y 46 del colector de distribución de represurización 6 no necesitan considerarse en el ejercicio de diagnostico de válvulas cuando el lecho A está en su etapa de Represurización y el análisis puede concentrarse en las válvulas 11, 12, 13, 14 y 15. De forma similar, la alternativa de medir el flujo en la entrada de represurización del lecho tiene beneficios para el diagnostico de las válvulas sobre los lechos B, C y D, debido a que las válvulas correspondientes en el colector de distribución de represurización 6 no necesitan considerarse. Medir el flujo en todas la locaciones, es decir mediante el medidor de flujo 53 mediante el medidor de flujo 59 en el lecho A, y medidores de flujos similares en los otros tres lechos generarán información adicional

40 significativa para usarse además en el desarrollo de un diagnostico preciso de las válvulas conectadas al conector de distribución de represurización 6 y las otras válvulas conectadas a los lechos.

El análisis anterior de los lechos en la etapa de Represurización se puede extender a la etapa de Compensación 1 (Represurización). Cuando el lecho A está en su etapa de Compensación 1 (Represurización), una fuga a través de la válvula 11 estará en la dirección mostrada en la Figura 3, es decir, dentro del lecho A, aumentando de esta manera la presión en el lecho A. Una fuga a través de la válvula 15 estará en la dirección mostrada, es decir, fuera del lecho A, disminuyendo de esta manera la presión en el lecho A. Una fuga a través de la válvula 12 estará en la dirección mostrada, es decir, dentro del lecho A aumentando de esta manera la presión en el lecho A. Una fuga a través de la válvula 14 estará en la dirección mostrada, es decir, fuera del lecho A, disminuyendo de esta manera la presión en el lecho A. Una fuga a través de la válvula 16 estará en la dirección mostrada, es decir, dentro del lecho A aumentando de esta manera la presión en el lecho A.

Como alternativa a o además de calcular el flujo de compensación hasta el lecho A desde el lecho C midiendo la diferencia de presión en el lecho C, se puede instalar un medidor de flujo en cada lecho, por ejemplo, el medidor de flujo 61 sobre el lecho A como se muestra en la Figura 3. En esta alternativa, las válvulas 24, 34 y 44 del colector de distribución de compensación 4 no necesitan considerarse en el ejercicio de diagnostico de válvulas cuando el lecho A está en su etapa de Compensación 1 (Represurización) y el análisis se concentra en las válvulas 11, 12, 15 y 16. De forma similar, la alternativa de medir el flujo en la entrada de gas de compensación en el lecho tiene beneficios para el diagnostico de las válvulas en los lechos B, C y D, debido a que las válvulas correspondientes en el colector de distribución de compensación 4 no necesitan considerarse. Medir o determinar el flujo en todas las locaciones, es decir, mediante el medidor de flujo 61 en el lecho A, mediante medidores de flujo similares en los otros tres lechos, y mediante la diferencia de presión en los lechos que proporcionan el gas de Compensación 1, generará información

suficiente para el diagnostico preciso de las válvulas conectadas al colector de distribución de compensación 4 y las otras válvulas conectadas a los lechos.

La determinación de los parámetros de transferencia de gas G_p y G_{pn} para usarse en método de diagnostico para la etapa de Represurización del lecho A se puede ilustrar con referencia a las Figuras 1 y 3. El G_p se puede determinar para la etapa de Represurización totalizando el flujo de gas medido mediante el medidor de flujo 53 (Figura 1) durante la etapa. El aumento de presión en el lecho A durante la etapa de Represurización, es decir, ΔP_R , se determina mediante el dispositivo de medición de presión 18. Después G_{pn} se calcula dividiendo G_p entre ΔP_R . Como alternativa, G_p se puede determinar para la etapa de Represurización totalizando el flujo de gas medido mediante el medidor de flujo 59 (Figura 3) durante la etapa y G_{pn} se puede calcular después a partir de este valor.

La determinación de los parámetros de transferencia de gas G_p y G_{pn} para usarse en el método de diagnostico para la etapa de Compensación 1 (Represurización) del lecho A se puede ilustrar también con referencia a las Figuras 1 y 3. G_p se puede determinar para la etapa de Compensación 1 (Represurización) midiendo la disminución en la presión en el lecho C mediante el dispositivo de medición de presión 38 mientras que el lecho C proporciona el gas de compensación al lecho A, es decir, ΔP_D (no de acuerdo con la invención). Esta es una indicación de la cantidad de gas proporcionado desde el lecho C durante dicha etapa. El aumento de presión en el lecho A durante la etapa de Represurización, es decir, ΔP_R , se determina mediante el dispositivo de medición de presión 18. Después, G_{pn} se calcula dividiendo ΔP_D entre ΔP_R (no de acuerdo con la invención). Como alternativa, G_p se puede determinar para la etapa de Compensación 1 (Represurización) totalizando el flujo de gas medido mediante el medidor de flujo 61 (Figura 3) durante la etapa, y después dividiendo G_p entre ΔP_R para obtener G_{pn} .

Se puede utilizar un método alternativo para determinar los parámetros para el método de diagnostico de fugas en el que el flujo de gas se mide en el extremo de salida de cada lecho adsorbedor como se muestra mediante el medidor de flujo 63 en la Figura 3. En esta alternativa, el G_p para una etapa de compensación de presión se determina integrando el caudal de gas medido en la salida del lecho que proporciona el gas y disminuyendo la presión durante esta etapa. El caudal de gas que entra al lecho receptor que se incrementa en la presión se puede medir en integrarse durante esta etapa para arrojar un parámetro definido, $G_r = f(m_{tr})$ en el que m_{tr} es la masa de gas que entra a un deposito adsorbedor receptor o al tanque de equilibrio para la etapa de depuración que se incrementa en presión durante la etapa de proceso. Un parámetro con flujo normalizado G_{pf} , se puede definir como $G_{pf} = G_p / G_r$. Bien sea uno o ambos de los parámetros G_p y G_{pf} se puede usar después en el método de diagnostico para identificar las válvulas que presentan fugas. Un enfoque similar se puede usar para la etapa de Represurización en la que G_p representa la cantidad de gas proporcionado para la represurización y se calcula como la diferencia entra (1) el caudal integrado de gas proporcionado a partir del lecho durante la etapa de suministro y (2) el caudal integrado del gas producto final que abandona el colector de distribución del gas producto 2 (Figura 1). El caudal de gas que entra al lecho receptor (o tanque de equilibrio) se puede medir e integrar durante esta etapa para arrojar un parámetro G_r como se ha descrito anteriormente. El parámetro con flujo normalizado G_{pf} se puede calcular después dividiendo G_p entre G_r .

Los parámetros de transferencia de gas se pueden determinar para una porción definida de una etapa específica en lugar que para toda la duración de la etapa como se ha descrito anteriormente. En otras situaciones, los parámetros de transferencia de gas se pueden determinar durante la duración de una serie de etapas, por ejemplo, las etapas EQ1 (Represurización) y Represurización (véase etapas 9 y 10 de la Figura 2). Se selecciona Cualquier etapa, porción de una etapa o serie de etapas, sin embargo, es importante que la misma etapa, porción de una etapa o serie de etapas se use en determinaciones repetidas de los parámetros de transferencia de gas. La selección de la etapa, porción de una etapa o serie de etapas puede depender de las características de operación actuales de la planta. Puede ser deseable determinar y controlar los parámetros de transferencia de gas para dos o mas etapas a fin de desarrollar un método de diagnostico con base más amplia que sería posible si solo se usara una etapa para el diagnóstico.

Cuando el parámetro de transferencia de gas determinado se compara con un valor de referencia predeterminado, la desviación o diferencia observada se usa para diagnosticar las válvulas que presentan fugas como se ha descrito anteriormente. La magnitud de esta diferencia y la dirección de la desviación (es decir, una desviación positiva o negativa con respecto de los valores de referencia) se usan para determinar cuales de las válvulas que están cerradas o cuales de las que deberían estar cerradas durante la etapa de proceso seleccionada están presentando posibles fugas. Para determinar pequeñas variabilidades del proceso (típicamente descritas como "ruido") el diagnostico se puede basar en el valor absoluto de la desviación observada y su magnitud relativa al valor mínimo predeterminado. Cuando el valor absoluto de la desviación observada es mayor que un valor mínimo predeterminado, se toma una decisión de que una válvula o una de un grupo de válvulas con posibles fugas están en realidad presentando fugas, y se definen las válvulas que presentan fugas. Este valor mínimo predeterminado se basa en la experiencia operativa de una planta particular, y dependerá de las características de operación de dicha planta (por ejemplo, la presión y la variabilidad de la composición del gas de suministro, los cambios en la pureza de producto requerida, el ciclo y el numero de lechos y similares). El valor mínimo predeterminado se puede ajustar a un porcentaje del valor de referencia, y puede ser, por ejemplo, el 5% del valor de referencia. En algunas plantas esto puede incrementarse hasta el 10% del valor de referencia.

Los siguientes ejemplos ilustran realizaciones de la presente invención pero no limitan la invención a cualquiera de los detalles específicos descritos en la presente memoria.

ES 2 346 898 T3

Ejemplo 1

El sistema de PSA de la Figura 1 supera para la producción de hidrógeno de alta pureza a partir de una mezcla de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano producido por el vapor reformado del gas natural. En este ejemplo, el colector de distribución 6 y las válvulas asociadas 16, 26, 36 y 46 se han eliminado y el colector de distribución 3 se usó tanto para la etapa de Represurización como para la etapa EQ1 -Represurización. El flujo del gas producto en el colector de distribución se midió y se controló mediante el medidor de flujo 53 y la válvula de control de flujo 51, respectivamente. El sistema se operó de acuerdo a una modificación del ciclo de la Figura 2 en el que las etapas EQ1 y de Represurización se superponen de tal manera que el gas de represurización es una combinación del gas de transferencia desde un lecho de despresurización y el gas producto por medio de la válvula 51. G_{pn} se determinó como se describe a continuación sólo durante la etapa de Represurización y después de finalizar la etapa EQ1.

Las posiciones de las válvulas (abierta o cerrada) durante las etapas del ciclo y las relaciones de presión entre los seis colectores de distribución y los lechos adsorbentes se utilizaron para desarrollar un gráfico de diagnóstico para la etapa de Represurización de cada uno de los lechos adsorbentes A, B, C y D. El gráfico de diagnóstico se muestra en la Figura 4 A.

Este gráfico muestra el patrón esperado de las desviaciones que se observaron durante los controles elaborados durante las etapas de represurización. Para este ciclo de PSA particular y perfil de presión mostrado en la Figura 2, las desviaciones como se muestran son esperadas si una válvula particular está presentando fugas mientras que el lecho está en la etapa de Represurización. Si la válvula de suministro en un lecho (es decir, la válvula 11, 21, 31 ó 41) está presentando fugas durante esta etapa, entonces el valor del parámetro de transferencia del gas con presión normalizada G_{pn} (es decir, la proporción de la cantidad de hidrógeno de represurización proporcionado por medio del colector de distribución 3 con respecto al aumento de presión en el lecho que se está represurizando) se espera que se desvíe por debajo del valor de referencia debido a que el volumen del gas de suministro presentará fugas en el lecho y reducirá de esta manera el volumen del hidrógeno de represurización requerido para completar esta etapa. Si la válvula de producto (es decir, la válvula 12, 22, 32 ó 42) está presentando fugas durante esta etapa, entonces se espera que G_{pn} se desvíe por debajo del valor de referencia debido a que el volumen de gas producto presentará fugas en el lecho por medio de la fuga en la válvula de producto y reducirá de esta manera el volumen del hidrógeno de represurización requerido para completar esta etapa.

Si la válvula de Compensación 2 - Purga Provista (es decir, la válvula 14, 24, 34 ó 44) en el lecho está presentando fugas durante esta etapa, entonces el valor de G_{pn} se espera que se desvíe por encima del valor de referencia debido a que un volumen de gas se fugará fuera del lecho y dentro del colector de distribución 8 y aumentará de esta manera el volumen del hidrógeno de represurización requerido para completar esta etapa. Durante una porción de la etapa de Represurización de cualquier lecho, otro lecho está en la etapa de inactivación y todos las válvulas EQ2 - PP (es decir, las válvulas 14, 24, 34 y 44) se cierran, y se aísla el colector de distribución 4 con respecto de los otros lechos. Sin embargo, durante la porción restante de la etapa de Represurización, no se continúa aislando el colector de distribución 4. Es posible definir un control de Represurización durante la porción de la etapa de Represurización cuando no se aísla el colector de distribución 4.

Si la válvula del gas residual (es decir, la válvula 15, 25, 35 ó 45) en el lecho está presentando Fugas durante esta etapa, entonces el valor de G_{pn} se espera que se desvíe por encima del valor de referencia debido a que un volumen del gas se fugará fuera del lecho y aumentará de esta manera el volumen del hidrógeno de represurización requerido para completar esta etapa. Si la válvula EQ1 - Represurización (es decir, la válvula 13, 23, 33 ó 43) en un lecho está presentando fugas durante la etapa de represurización, entonces el valor de G_{pn} se espera que se desvíe por debajo del valor de referencia cuando el lecho (i+1) (es decir, el lecho que se somete a la etapa de represurización inmediatamente después de la Represurización del lecho con que presenta la fuga en la válvula EQ1 - Represurización) en el ciclo que está en Represurización, y el valor de G_{pn} se espera que se desvíe por encima del valor de la referencia cuando los lechos (i+2) e (i+3) están en Represurización. Cuando cualquier lecho (i) está en Represurización, la válvula EQ1 - Represurización (es decir, la válvula 13, 23, 33 ó 43) se abrirá y por tanto no presentará una fuga. La fuga estará dentro del lecho (i+1) cuando la válvula EQ1 - Represurización presenta fugas debido a que la presión en el lecho (i+1) será mayor que la presión en el lecho (i) durante esta etapa. La fuga estará fuera del lecho (i+2) e (i+3) debido a que la presión en el lecho (i+2) e (i+3) será mayor que la presión en el lecho (i) durante las etapas de Represurización de los lechos (i+2) e (i+3), respectivamente.

La Figura 4A muestra por lo tanto el patrón esperado de desviaciones que se obtendrían cuando se hace el control de Represurización con cada lecho en su etapa de Represurización. A partir de este patrón, es posible determinar que lecho contiene la válvula que presenta fuga y es posible reducir la lista de posibles válvulas que presentan fugas a como mucho dos válvulas diferentes sobre un mismo lecho. Este ejemplo ilustra la utilidad de este método para detectar las fugas y determinar rápidamente cuál o cuáles válvulas son más propensas a presentar fugas.

Ejemplo 2

El sistema de PSA de la Figura 1 se opera de acuerdo con el sistema y el ciclo del Ejemplo 1 para la producción del hidrógeno de alta pureza a partir de una mezcla de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano producido por el vapor reformado del gas natural. Las posiciones de las válvulas (de abertura o de cierre) durante las etapas del ciclo y las relaciones de presión entre los seis colectores de distribución y los lechos adsorbentes se

utilizaron para desarrollar un gráfico de diagnostico para la etapa de Compensación 2 - Despresurización de cada uno de los lechos adsorbedores A, B, C y D. El gráfico de diagnostico se muestra en la Figura 4B, que muestra el patrón esperado de desviaciones que se revelan usando los controles de diagnostico elaborados durante esta etapa. Para este ciclo de PSA y de perfil de presión particular (véase Figura 2), se esperaron las siguientes desviaciones si una válvula particular está presentando fugas mientras que un lecho (i) está en la etapa EQ2 - Despresurización. Para este ejemplo cuando el lecho (i) está en la etapa de EQ2 - Despresurización, proporciona gas al lecho (i-1) que está en su etapa de EQ2 - Represurización. Una pequeña desviación de G_{pn} a partir del valor de referencia significa que un valor dado, si está presentado fugas, se espera que haga escapar el gas en el sistema de los dos lechos que están intercambiando gas durante la etapa EQ2. Una gran desviación de G_{pn} con respecto al valor de referencia significa que una válvula dada, si presenta fugas, se espera que haga escapar el gas fuera del sistema de los dos lechos que están intercambiando gas durante la etapa EQ2.

Ejemplo 3

Los gráficos de diagnostico de las Figuras 4A y 4B se combinaron para conseguir un gráfico de diagnostico genérico de la Figura 5 para el ciclo y sistema de PSA de los Ejemplos 1 y 2. La Figura 5 se puede usar para determinar la probabilidad de e identificar las válvulas que presentan fugas sobre cualquier lecho adsorbedor N. Por ejemplo, si la válvula del gas residual en el lecho A (válvula 15, Figura 1) está presentando fugas, se esperarían las siguientes desviaciones. El G_{pn} determinado durante la represurización del lecho A se elevaría, el G_{pn} determinado durante la etapa EQ2 del lecho A se elevaría y el G_{pn} determinado durante la etapa EQ2 del lecho B se elevaría. En otro ejemplo, si la válvula EQ2 - purga provista en el lecho A (válvula 14, Figura 1) está presentando fugas, se esperarían las siguientes desviaciones: el G_{pn} determinado durante la represurización del lecho A se elevaría, el G_{pn} determinado durante la etapa EQ2 del lecho C se disminuiría y el G_{pn} determinado durante la etapa EQ2 del lecho D se disminuiría.

Si todos los criterios de la Tabla 5 coinciden para una válvula dada, es ciertamente esencial que la válvula esté presentando fugas. Si no todos los criterios coinciden disminuye, sin embargo, la probabilidad de una fuga. Por ejemplo, si dos de los tres criterios de ensayos para la válvula del gas residual coinciden, la probabilidad de que la válvula este presentando fugas es del 67%. En un ejemplo específico, si la desviación de G_{pn} es elevada para la etapa EQ2 para el lecho A, elevada para la etapa EQ2 del lecho B, pero por debajo de la desviación mínima para la etapa de Represurización del lecho A, entonces la probabilidad de que la válvula del gas residual en el lecho A esté presentando fugas es del 67%.

Ejemplo 4

Los ensayos para ilustrar la aplicación del método descrito anteriormente se realizaron en una planta de PSA de hidrógeno en funcionamiento que produce 7.000.000 de pies cúbicos estándar por día de hidrógeno con el 99,999% de pureza. A partir de una refinación nominal de gas suministrado mezclado que contiene del 70 al 80% en volumen de hidrógeno, ~15% CH_4 , ~7% C_2H_6 y ~4% C_3H_8 . La planta se operó con un sistema y un ciclo de cuatro lechos de los Ejemplos 1-3 con un tiempo de ciclo total de aproximadamente 20 minutos.

El estado libre de fugas de todas las válvulas en el sistema de PSA se confirmó inicialmente durante una parada de planta. La planta se operó después en condiciones de línea de base de referencia para establecer los perfiles de referencia de G_{pn} frente al tiempo real de operación para la etapa de Compensación 2 (Represurización-Despresurización) (etapa 8, Figura 2) y la etapa de Represurización (etapa 10, Figura 2). Los valores de G_{pn} para la etapa EQ2 se determinaron como la proporción del cambio de presión medido del lecho que proporciona gas con respecto al cambio de presión medido del lecho que recibe gas durante la etapa. En esta etapa, los valores de G_{pn} no tuvieron dimensiones. Los valores de G_{pn} para la etapa de Represurización se determinaron como la proporción del flujo de gas de represurización medido en el colector de distribución 6 con respecto al cambio de presión medido del lecho que recibe el gas de represurización durante la etapa. En esta etapa, los valores de G_{pn} tuvieron las unidades de millones de metros cúbicos/psi convencionales.

Durante este periodo inicial, se hicieron cambios en ciertos parámetros operativos para determinar los aspectos de tales cambios en los perfiles de referencia. Estos incluyeron cambios de la presión de adsorción, el tiempo del ciclo de PSA, la presión en el tambor de equilibrio, la tasa de producción de hidrógeno y la transición desde el control de flujo hasta el control de presión de la producción de hidrógeno. Por ejemplo, a aproximadamente las 9:00 am el tiempo del ciclo de PSA se disminuyó de 351 seg a 340 seg; entre las 9:45 y 10:40 am la presión del tambor de equilibrio se aumentó desde 0,28 barg a 0,31 a 0,34 barg (4 a 4,5 a 5 psig) y después retornó a 0,28 barg (4 psig). A aproximadamente las 11:15 am la tasa de producción de hidrógeno se disminuyó de 7.400 a 6.200 m^3/h (260 a 220 miles de pies cúbicos convencionales por hora).

Los perfiles de referencia resultantes se proporcionan en las Figuras 6A y 6B. Se observa que los cambios del proceso tienen un ligero pero insignificante efecto en los perfiles para la etapa de represurización, mientras que los cambios del proceso tienen un efecto más pronunciado en los perfiles para la etapa EQ2. También se observó que la variabilidad de los perfiles entre los pares de lechos de compensación fue mayor que la variabilidad entre los lechos que se sometieron a la represurización. Puesto que no ocurrió ninguna fuga, el valor registrado para G_{pn} se esperó que permaneciera constante como se muestra para las proporciones medidas durante el control de Represurización. Existen diversas razones para la variabilidad aumentada. Una razón es que el flujo dentro del lecho que recibe gas no se midió de forma precisa mediante el cambio de presión del lecho que proporciona gas. La cantidad de gas proporcionado

por este lecho como se ha definido mediante una disminución de presión dada en el lecho dependerá de los factores, tales como, la temperatura y presión inicial del sistema así como la carga de impurezas en el lecho. Estos parámetros se fueron cambiando durante este ensayo. Mejor precisión podría conseguirse midiendo este flujo de forma directa instalando medidores de flujo en el colector de distribución 4.

Ejemplo 5

Los perfiles de G_{pn} frente al tiempo real en funcionamiento se determinaron usando el mismo sistema y ciclo de PSA del Ejemplo 3 para la etapa de Represurización y la etapa de Compensación 2 (Represurización-Despresurización). Se provocó una fuga en la válvula del gas residual (25, Figura 1) en el lecho B ajustando el límite de válvula de manera que la válvula de mariposa ya no estuviera cerrada herméticamente contra su asiento entre los tiempos reales de 14:52 y 15:57 para observar los efectos en los perfiles de G_{pn} frente al tiempo real en funcionamiento. Los perfiles resultantes se muestran en las Figuras 7a y 7b.

El control de Represurización para el lecho B se desvió en la dirección positiva como se esperó. La magnitud de la desviación se puede usar para cuantificar la proporción de la fuga. Ambas de las desviaciones para las etapas EQ2 C $\rightarrow$ B y EQ2 $\rightarrow$ A se esperaron que fueran en las direcciones positivas. EQ2 B $\rightarrow$ A mostró desviaciones, pero no fueron lo suficientemente mayores que un valor mínimo seleccionado de 0,05 a observarse. La diferencia de presión de tamaño a través de la válvula que presenta fugas se esperó que fuera mayor cuando el lecho B que está en la etapa EQ2 - Despresurización (EQ2 $\rightarrow$ B) que cuando el lecho B está en la etapa de EQ2 - Represurización (EQ2 C $\rightarrow$ B). Sin embargo, la desviación observada fue más pronunciada cuando el lecho B estaba en la etapa EQ2 - Represurización (EQ2 C $\rightarrow$ B). Por lo tanto, este argumento probablemente no explica la falta de respuesta. Cuando el lecho B está en su etapa EQ2 - Despresurización, el lecho contiene una carga relativamente elevada de impurezas adsorbidas. La fuga del gas a través de la válvula del gas residual en la parte inferior de este depósito se espera que barra lejos las impurezas que se adsorban desde la parte inferior del lecho, en el que el adsorbente está cargado más pesadamente con impurezas. Si la fuga del gas a través de la válvula del gas residual contiene una concentración mayor de impurezas que el gas suministrado desde la parte superior de este lecho hasta un lecho en la etapa de EQ2 - Represurización, puede tener un pequeño efecto en la presión del lecho y la cantidad del gas proporcionado por el lecho en su etapa de EQ2 - Despresurización hasta el lecho en su etapa EQ2 - Represurización como se ha caracterizado por el cambio medido en la presión del lecho.

Ejemplo 6

Los perfiles de G_{pn} frente al tiempo real operativo se determinan usando el mismo sistema y ciclo de PSA del Ejemplo 3 para la etapa de Represurización y la etapa de Compensación 2 (Represurización - Despresurización). Se provocó una fuga en la válvula EQ1 (23, Figura 1) en el lecho B ajustando que el obturador límite de válvula entre los tiempos reales de aproximadamente 17:50 y 18:30 a fin de observar los efectos en los perfiles de G_{pn} frente al tiempo real operativo. Los perfiles resultantes se muestran en las Figuras 8A y 8B. Los controles de Represurización para los lechos C y D se desviaron como se esperó. Se cree que el lecho A no se sometió a una etapa de Represurización mientras que la válvula estaba presentando fugas. No se permitió tiempo suficiente para observar el impacto de la fuga en el lecho A en la etapa de Represurización, mientras se esperó una alta desviación.

Ambas etapas EQ2 C $\rightarrow$ B y EQ2 B $\rightarrow$ A se esperaron que mostraran una desviación en la dirección negativa. La etapa EQ2 B $\rightarrow$ A mostró una desviación negativa significativa, como se esperó, pero la etapa EQ2 C $\rightarrow$ B no lo hizo. La cantidad de la diferencia de presión que actúa a través de la válvula EQ1 que está presentando fuga se estimó que fuera significativamente mayor para la etapa EQ2 B $\rightarrow$ A 7,7 bar (~111 psi) que para la etapa EQ2 C $\rightarrow$ B 2,8 bar (~40 psi). Como resultado, la tasa de fugas durante la etapa EQ2 C $\rightarrow$ B se esperó que fuera mayor que durante la etapa EQ2 B $\rightarrow$ A. Esto puede explicar la razón para la falta de respuesta durante la etapa EQ2 C $\rightarrow$ B.

Ejemplo 7

Los perfiles de G_{pn} frente al tiempo real operativo se determinaron usando el mismo sistema y ciclo de PSA del Ejemplo 3 para la etapa de Represurización y la etapa de Compensación 2 (Represurización - Despresurización). Se provocó una fuga en la válvula EQ2 - purga provista (24, Figura 1) en el lecho B ajustando el posicionador de la válvula entre los tiempos reales de aproximadamente 10:15 y 11:30 a fin de observar los efectos en los perfiles de G_{pn} frente al tiempo real operativo. Los perfiles resultantes se muestran en las Figuras 9A y 9B.

Al posicionador de la válvula en la válvula 24 se le ordenó retornar "cerrado" a la posición del 5, 7, 9 y 11% abierto, aumentando de esta manera el modo de etapa de un área abierta para una fuga. Los controles de Represurización para el lecho B se desviaron a la posición positiva como esperó. Ambas etapas EQ2 D $\rightarrow$ C y EQ2 A $\rightarrow$ D se esperaron que se desviaran en la dirección negativa, y se observaron que se desviaron en esta dirección esperada. La magnitud de la desviación de ambos controles de Represurización y EQ2 - Represurización correspondieron directamente a los cambios que se realizaron a la abertura de la válvula. Cuando a la válvula se le ordenó permanecer más abierta, existió una respuesta correspondiente en las válvulas para los controles de Represurización y EQ2 - Represurización. Esta magnitud de la diferencia de presión que actúa a través de la válvula que presenta la fuga 24 se estimó mayor que > 20,7 bar (> 300 psi) durante los periodos en los que se realizaron los controles correspondientes. Esto significa que existió una fuerza de accionamiento significativa para una fuga cuando los controles de fugas identificaron que esta ocurriendo una fuga.

Ejemplo 8

Los perfiles de G_{pn} frente al tiempo real operativo se determinan usando el mismo sistema y ciclo de PSA del Ejemplo 3 para la etapa de Represurización y la etapa de Compensación 2 (Represurización - Despresurización). Se provocó una fuga en la válvula de suministro (21, Figura 1) en el lecho B ajustando el obturador límite de la válvula en un tiempo real de aproximadamente 12:20 a aproximadamente 12:50, un ajuste se realizó para reducir la tasa de fuga, y a aproximadamente las 12:45 la fuga se detuvo. Los perfiles resultantes se mostraron en la Figura 10A y 10B.

Los controles de Represurización para el lecho B se desviaron a la dirección negativa como se esperó. Ambas etapas EQ2 B $\rightarrow$ A y EQ2 C $\rightarrow$ B se esperaron que se desviarán en la dirección negativa. La etapa EQ2 B $\rightarrow$ A se desvió inicialmente en la dirección negativa, pero después cambió a la dirección positiva. Cuando el lecho B estaba en la etapa EQ2 - Despresurización, existió una cantidad relativamente significativa de impurezas adsorbidas en este lecho. Es posible que la cantidad de impurezas adsorbidas cambiara como una consecuencia de las impurezas añadidas que se introdujeron a medida que la válvula de suministro continuó presentando la fuga durante un tiempo. Como resultado, la carga de impurezas en el lecho B pudo haber cambiado lo suficiente para causar que la cantidad de gas transferido desde el lecho B que corresponde a un cambio dado en la presión del lecho B cambiara. Si G_p se obtuvo a partir de una medición directa del flujo transferido desde el lecho B hasta lecho A, esto arrojará la desviación baja esperada para G_{pn} . La precisión de la disminución de presión en lecho B a medida como la medición de G_{pn} es por lo tanto es cuestionable. Las observaciones para la etapa EQ2 C $\rightarrow$ B siguieron las expectativas.

Los resultados globales de los Ejemplos 3 a 7 anteriores confirman que, para este ciclo particular, la etapa de Represurización es la etapa más útil para obtener perfiles característicos de G_{pn} frente al tiempo real operativo para identificar las fugas en las válvulas. Las direcciones y duración de las derivaciones observadas fueron generalmente anticipadas. La etapa de Compensación 2 - (Represurización - Despresurización), sin embargo, pareció ser menos útil para este propósito debido a que las derivaciones observadas fueron a menudo diferentes que las anticipadas. Es posible que estos perfiles se puedan afectar adversamente por los cambios en las presiones iniciales en los lechos y los efectos de adsorción dinámica en los depósitos adsorbedores.

REIVINDICACIONES

1. Un método de operar un sistema de adsorción con oscilación de presión que comprende

- (a) proporcionar un sistema de adsorción con oscilación de presión que tiene una pluralidad de depósitos adsorbedores en paralelo y una pluralidad de válvulas y colectores de distribución de gas adaptados para introducir gas dentro de cada depósito adsorbedor y retirar el gas desde cada depósito adsorbedor en una serie de ciclos de etapas de procesos secuenciales que incluyen al menos una etapa de suministro, una etapa de despresurización, una etapa de regeneración y una etapa de represurización;
- (b) operar cada uno de los depósitos adsorbedores en la serie de ciclos de las etapas de proceso secuenciales que incluyen al menos la etapa de suministro, la etapa de despresurización, la etapa de regeneración y la etapa de represurización, en el que cada uno de la pluralidad de depósitos se abre y se cierra al menos una vez durante la serie de ciclos de las etapas de procesos secuenciales en una secuencia de operación de válvula predeterminada;
- (c) medir un valor de un parámetro de operación seleccionado a partir del grupo que consiste de
- (1) masa real m_t del gas proporcionado durante el periodo de tiempo t con respecto al depósito adsorbedor receptor durante una etapa de proceso seleccionada, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de procesos.
 - (2) el volumen del gas proporcionado al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de proceso durante el periodo de tiempo t y en el que el volumen de gas se define a cualquier temperatura y presión convencional;
 - (3) un parámetro de transferencia de gas con presión normalizada, G_{pn} , mediante la ecuación

$$G_{pn} = G_p / \Delta P_R$$

en la que G_p es un parámetro de transferencia de gas derivado de la ecuación

$$G_{pn} = f(m_t)$$

en la que m_t es la masa medida del gas proporcionado durante un periodo de tiempo t al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso seleccionada, la porción de una etapa de proceso o una serie de etapas de proceso y en la que ΔP_R es el aumento de presión en depósito adsorbedor que recibe al gas durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de procesos durante el periodo de tiempo t ; y

- (4) un parámetro de transferencia de gas con flujo normalizado, G_{pf} , mediante la ecuación

$$G_{pf} = G_p / G_r$$

en la que G_r se define como

$$G_r = f(m_{tr})$$

en la que m_{tr} es la masa medida de gas que fluye dentro del depósito receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o serie de etapas de proceso durante un periodo de tiempo t ;

- (d) determinar la desviación del valor del parámetro operativo con respecto de un valor de referencia predeterminado; y
- (e) usar la magnitud y la dirección de la desviación de (d) para determinar si cualquiera de las válvulas presentan una fuga, en la que (1) cuando el valor absoluto de la desviación de (d) es menor que un valor mínimo predeterminado, ninguna válvula se identifica como que tiene una fuga y (2) cuando el valor absoluto de la desviación de (d) es mayor que el valor mínimo predeterminado, al menos una de la válvulas se identifica como que tiene una fuga.

ES 2 346 898 T3

2. El método de la reivindicación 1, en el que G_p es igual a la masa real m_i de gas proporcionado durante el primer tiempo t al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o series de etapas de procesos.

3. El método de la reivindicación 1, en el que G_p es igual al volumen del gas proporcionado al depósito adsorbedor receptor durante la etapa de proceso, porción de una etapa de proceso o series de etapas de proceso durante el periodo de tiempo t y en el que el volumen de gas se define a cualquier temperatura y presión seleccionada.

4. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de proceso seleccionada es la etapa de represurización.

5. El método de la reivindicación 4, en el que el parámetro de operación es un parámetro de transferencia de gas con presión normalizada G_{pn} definido por la ecuación

$$G_{pn} = G_p / \Delta P_R$$

en la que ΔP_R es el aumento de presión en el depósito adsorbedor durante el periodo de tiempo t que recibe al gas de represurización durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización y G_p es igual al volumen del gas proporcionado durante el periodo de tiempo t al depósito adsorbedor durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización y en la que el volumen de gas se define a una temperatura y presión seleccionada.

6. El método de la reivindicación 1 en el que la serie de ciclos de de las etapas de proceso secuenciales incluyen una etapa de compensación en la que un depósito adsorbedor se despresuriza retirando un gas de despresurización desde el mismo e introduciendo el gas de despresurización en un depósito adsorbedor receptor que se incrementa en presión.

7. El método de la reivindicación 1 en la que etapa de proceso seleccionada es la etapa de depuración o la etapa de purga.

8. El método de la reivindicación 7 en el que el parámetro de operación es un parámetro de transferencia de gas, G_p , derivado de la ecuación

$$G_p = f(m_i)$$

en la que m_i es una masa de gas descargado desde un depósito adsorbedor durante la etapa de depuración o de purga.

9. El método de la reivindicación 1, en el que durante la etapa de suministro se introduce un gas de suministro que comprende hidrógeno y uno o más componentes de impureza en cada uno de los depósitos adsorbedores, el gas de suministro se hace pasar a través del depósito adsorbedor para adsorber al menos una porción de uno o más componentes de impureza, y se retira el gas producto de hidrógeno purificado del depósito adsorbedor.

10. El método de la reivindicación 9, en el que la etapa de proceso seleccionada es la etapa de represurización y el gas de represurización es una porción del gas producto de hidrógeno purificado.

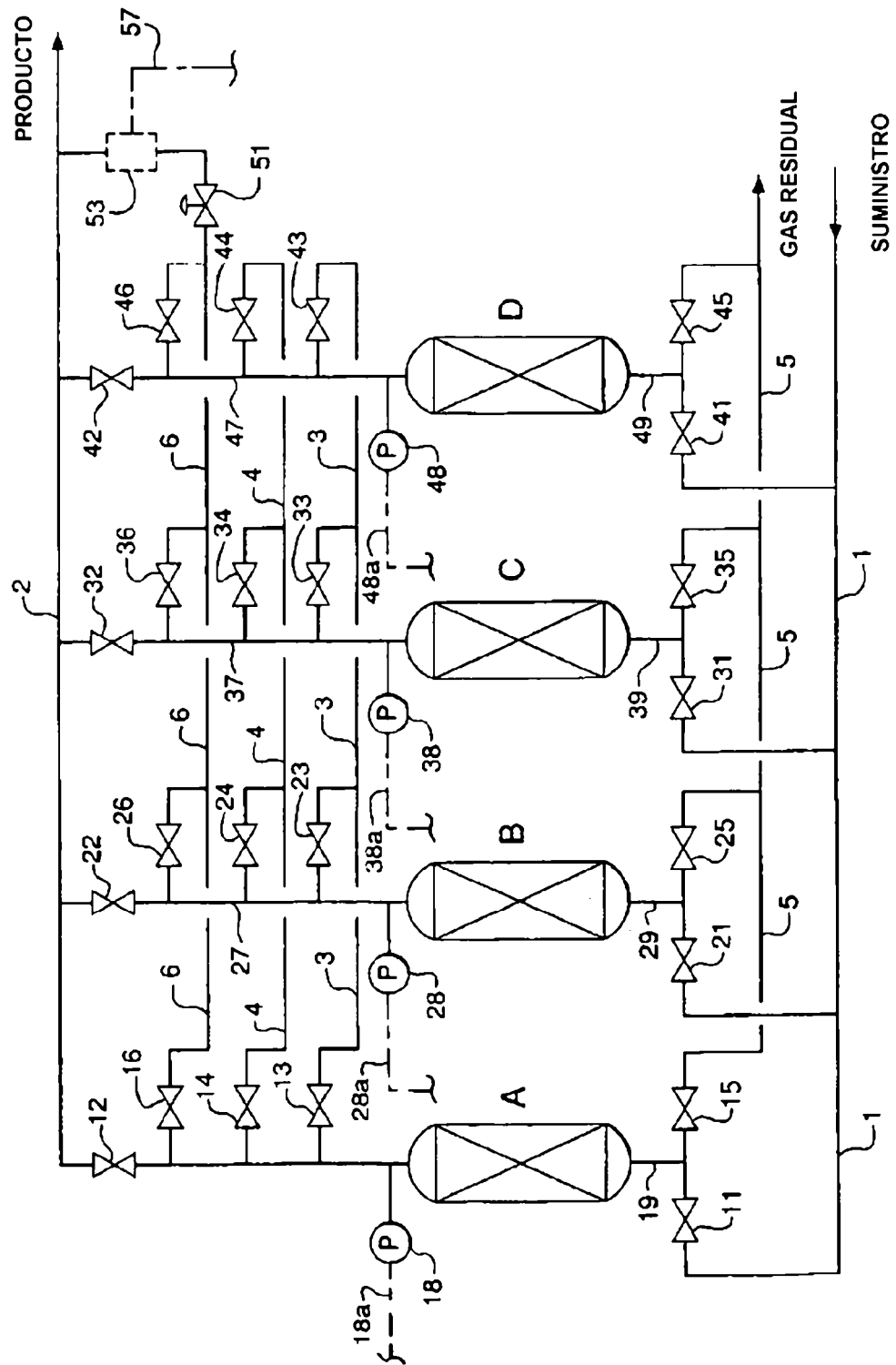
11. El método de la reivindicación 10, en el que el parámetro de operación es un parámetro de transferencia de gas con presión normalizada, G_{pn} , definida por la ecuación

$$G_{pn} = G_p / \Delta P$$

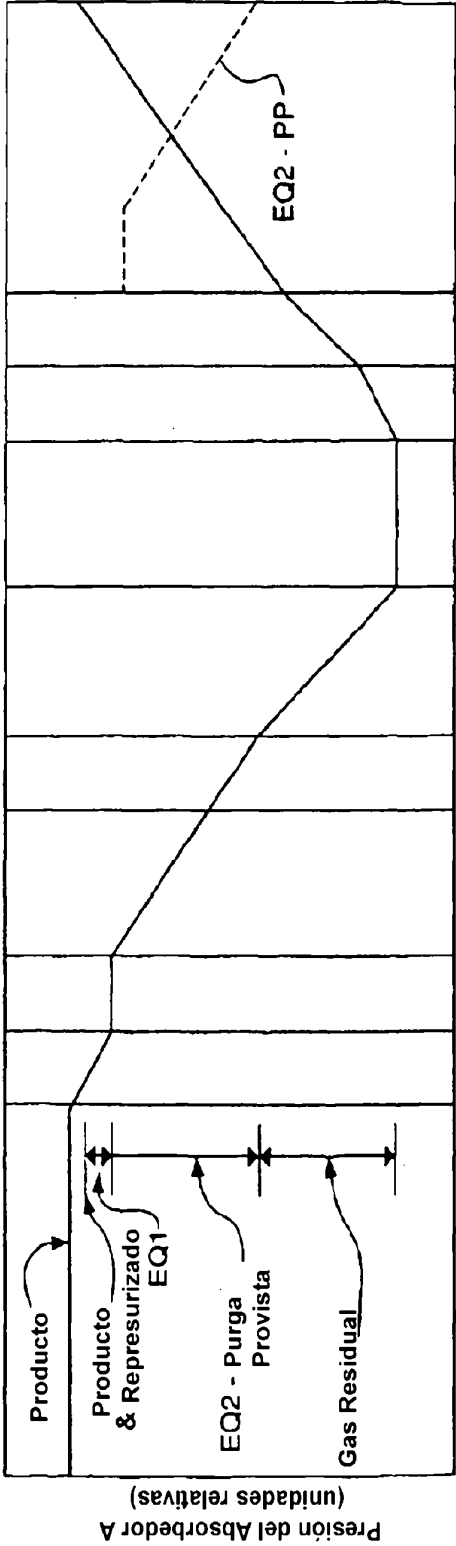
en la que ΔP es el aumento de presión en el depósito adsorbedor que recibe el gas producto de hidrógeno purificado durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización durante el periodo de tiempo t y G_p es igual al volumen del gas producto de hidrógeno purificado proporcionado al depósito adsorbedor durante la etapa de represurización o porción de la etapa de represurización durante el periodo de tiempo t y en el que el volumen de gas se define a una temperatura y presión seleccionada.

12. El método de la reivindicación 9 en el que la serie de ciclos de etapas de proceso secuenciales incluye una etapa de compensación en la que un depósito adsorbedor se despresuriza retirando un gas de despresurización desde el mismo e introduciendo el gas de despresurización en otro depósito adsorbedor, es decir, a una presión más baja que en el depósito adsorbedor que está siendo despresurizado.

13. El método de la reivindicación 9 en el que la serie de ciclos de etapas de proceso secuenciales incluyen la etapa de compensación en la que se despresuriza un depósito adsorbedor inmediatamente después de su etapa de suministro retirando un gas de despresurización desde el mismo e introduciendo el gas de despresurización en otro depósito adsorbedor que precede inmediatamente a su etapa de represurización.



Etapa												
Lecho	1					6			7	8	9	10
A	Suministro					Depuración		Purga	EQ2 Rep.	EQ1 Rep.	Represurización	
B	Represurización		Suministro			EQ2 Desp.	Purga Provista	EQ2 Rep.	Depuración	Purga	EQ2 Rep.	
C	Purga		EQ2 Rep.	Represurización			EQ1 Rep.	Suministro			EQ1 Desp.	EQ2 Desp.
D	EQ1 Desp.		Inactivación	Purga Provista	EQ2 Desp.	Depuración	Purga	EQ2 Rep.	EQ1 Rep.	Represurización		
Dur.	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d



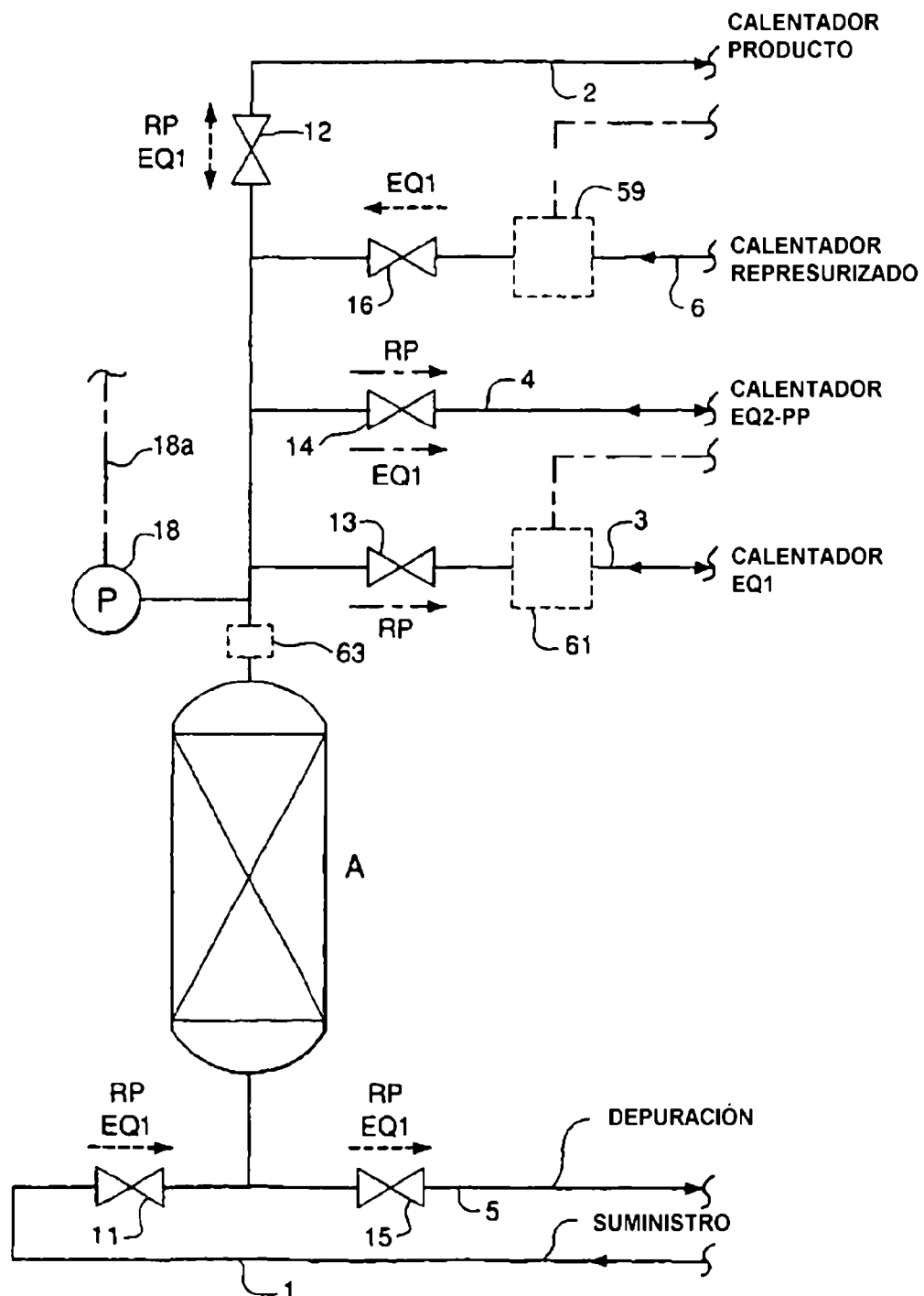


FIG. 3

Lecho en Represurización→ Válvula↓	A	B	C	D
14 ó 15	Alto			
24 ó 25		Alto		
34 ó 35			Alto	
44 ó 45				Alto
13		Bajo	Alto	Alto
23	Alto		Bajo	Alto
33	Alto	Alto		Bajo
43	Bajo	Alto	Alto	
11 ó 12	Alto			
21 ó 22		Bajo		
31 ó 32			Bajo	
41 ó 42				Bajo

Leyenda:

Bajo = G_{pm} está por debajo del valor de referencia y la desviación absoluta es mayor que un valor mínimo definido

Alto = G_{pm} está por encima del valor de referencia y la desviación absoluta es mayor que el valor mínimo definido

En blanco = la desviación absoluta de G_{pm} respecto del valor de referencia es menor que el valor mínimo definido

FIG. 4A

Lecho en EQ2D-EQ2R→	A a D	B a A	C a B	D a C
Válvula↓				
14			Bajo	Bajo
24	Bajo			Bajo
34	Bajo	Bajo		
44		Bajo	Bajo	
13, 11 ó 12	Bajo	Bajo		
23, 21 ó 22		Bajo	Bajo	
33, 31 ó 32			Bajo	Bajo
43, 41 ó 42	Bajo			Bajo
15	Alto	Alto		
25		Alto	Alto	
35			Alto	Alto
45	Alto			Alto

Leyenda:

- Bajo = G_{pm} está por debajo del valor de referencia y la desviación absoluta es mayor que un valor mínimo definido
- Alto = G_{pm} está por encima del valor de referencia y la desviación absoluta es mayor que el valor mínimo definido
- N representa cualquier lecho, por ejemplo, si N es el Lecho A, entonces N+1 es el lecho B, N+2 es el Lecho C y N+3 es el lecho C.

FIG. 4B

<u>Presunta Válvula o Válvulas en Lecho N</u>		<u>Determinación del parámetro de Ensayo G_{pn}</u>	
	<u>Etapas</u>	<u>Lecho</u>	<u>Desviación de G_{pn}</u>
Válvulas de Suministro y de Producto (Colectores 1 y 2, Fig. 1)	Represurización	N	Baja
	EQ 2	N	Baja
	EQ 2	N+1	Baja
Valor de Gas Residual (Colector 5, Fig. 1)	Represurización	N	Alta
	EQ 2	N	Alta
	EQ 2	N+1	Alta
Valor EQ 1 – Represurización (Colector 3, Fig. 1)	Represurización	N+1	Baja
	Represurización	N+2	Alta
	Represurización	N+3	Alta
	EQ 2	N	Baja
	EQ 2	N+1	Baja
Valor EQ 2 – Purga Provista (Colector 4, Fig. 1)	Represurización	N	Alta
	EQ 2	N+2	Alta
	EQ 2	N+3	Alta

Leyenda:

Baja = G_{pm} está por debajo del valor de referencia y la desviación absoluta es mayor que un valor mínimo definido

Alta = G_{pm} está por encima del valor de referencia y la desviación absoluta es mayor que el valor mínimo definido

En blanco = la desviación absoluta de G_{pm} respecto del valor de referencia es menor que el valor mínimo definido

FIG. 5

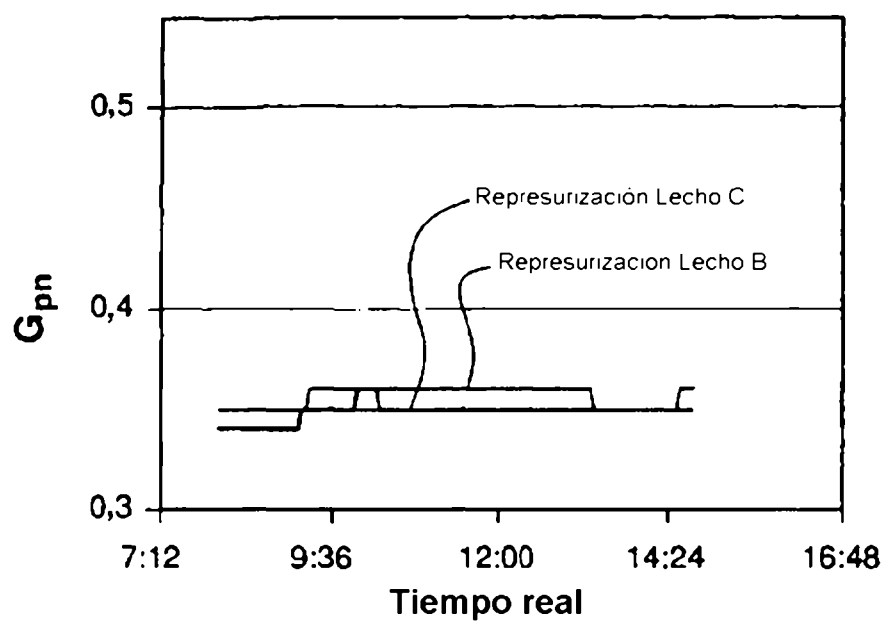


FIG. 6A

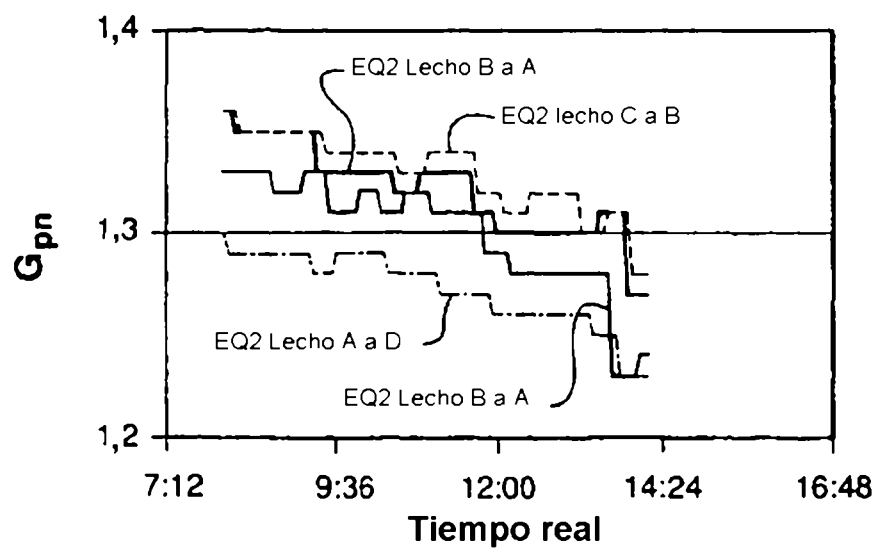


FIG. 6B

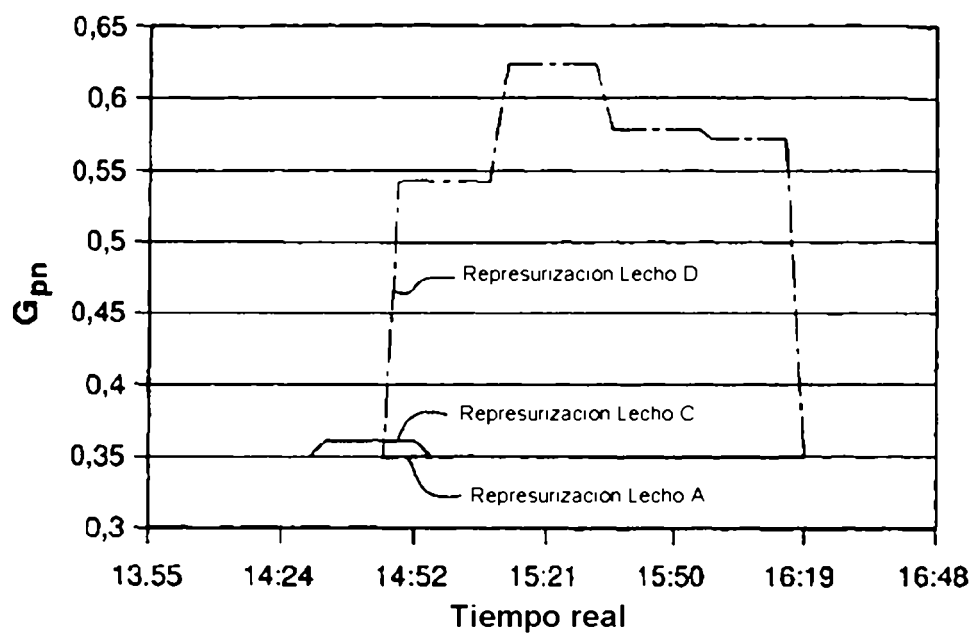


FIG. 7A

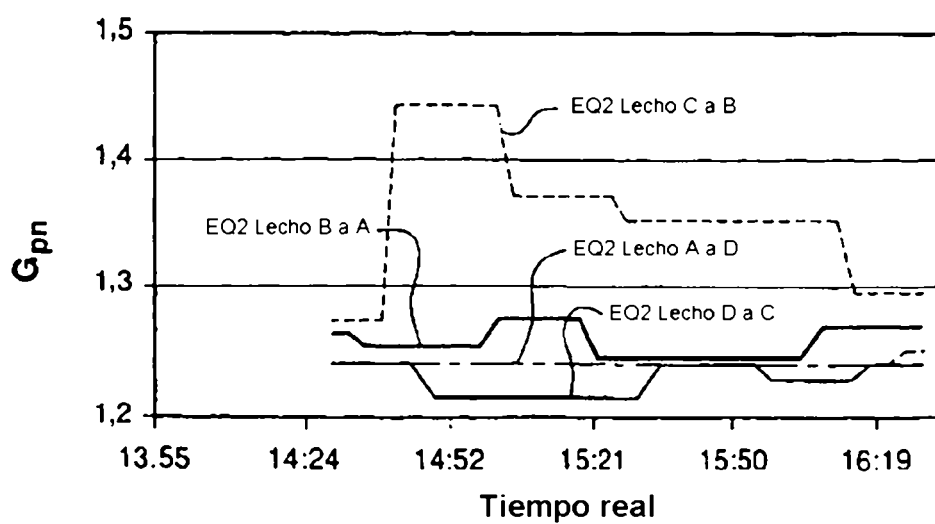


FIG. 7B

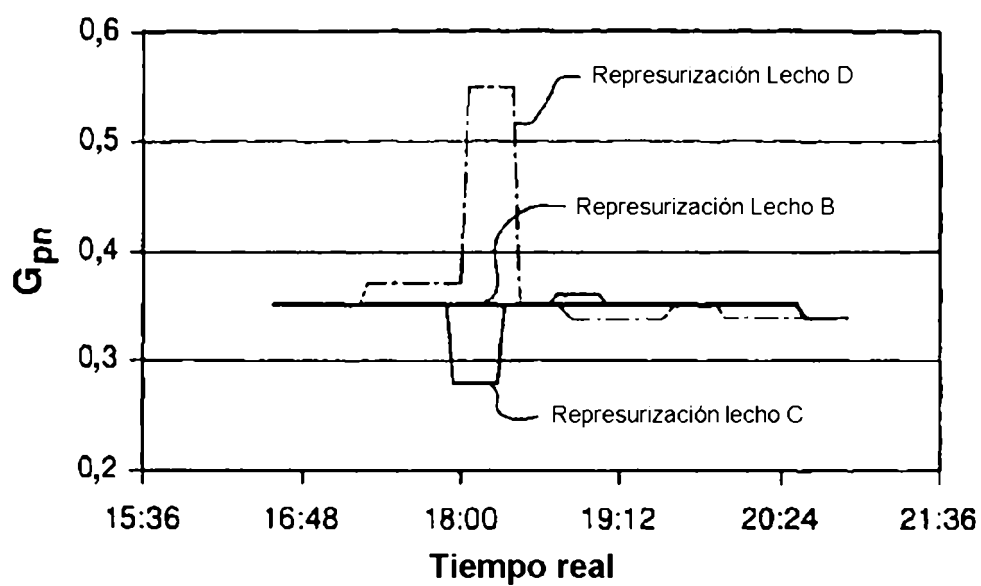


FIG. 8A

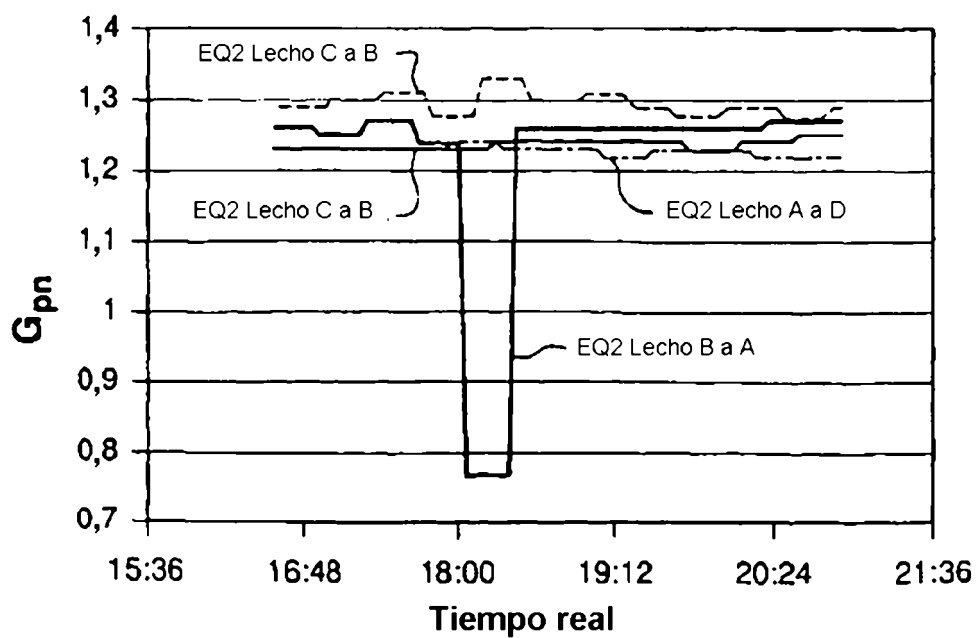


FIG. 8B

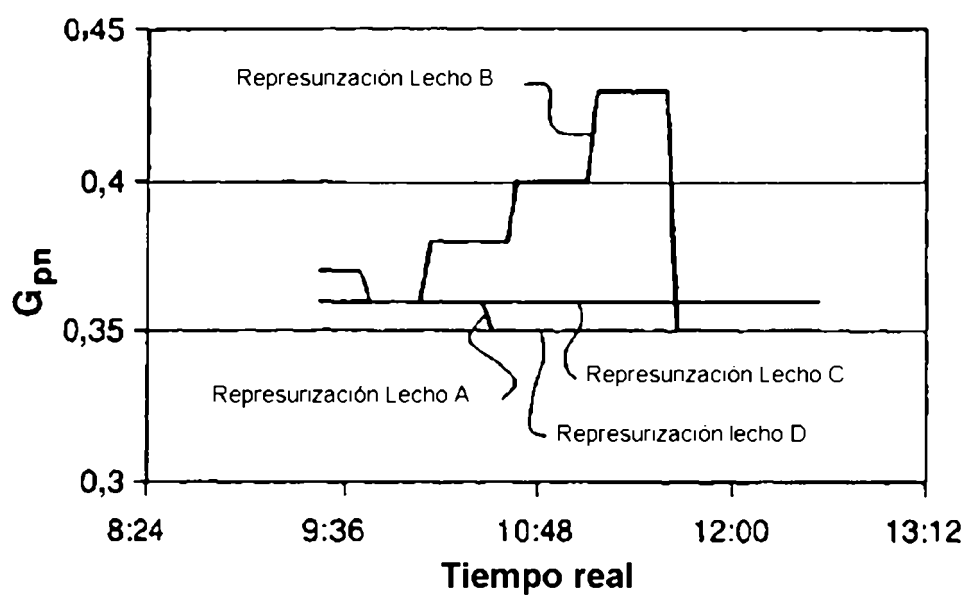


FIG. 9A

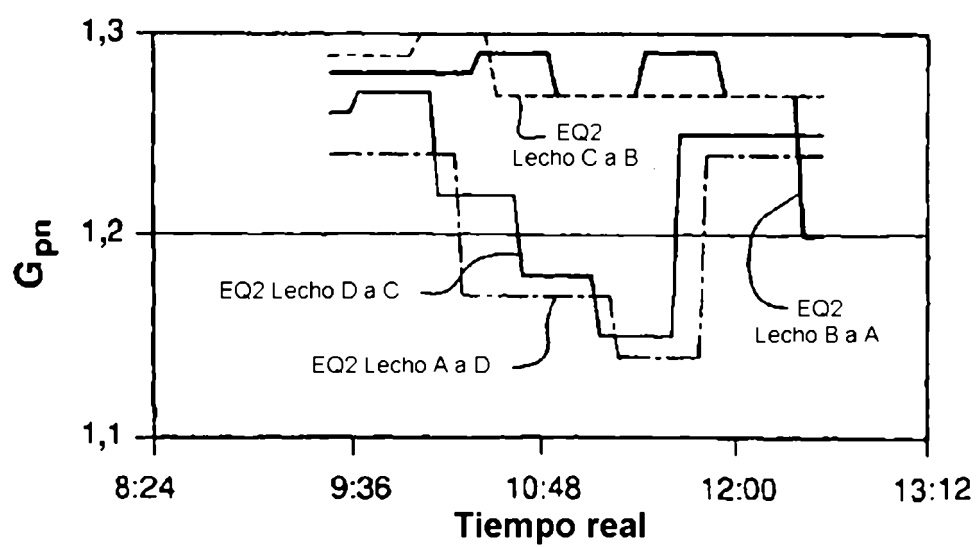


FIG. 9B

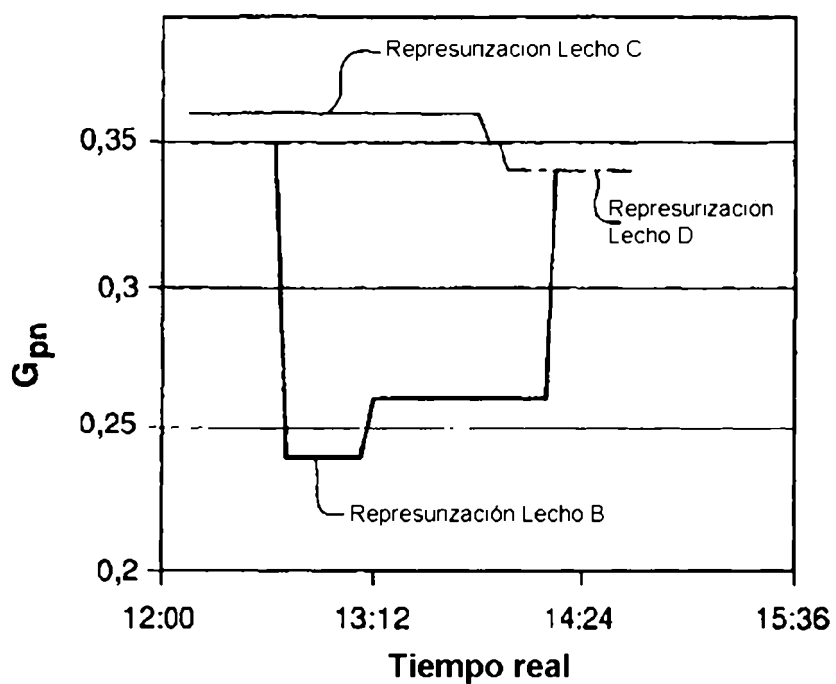


FIG. 10A

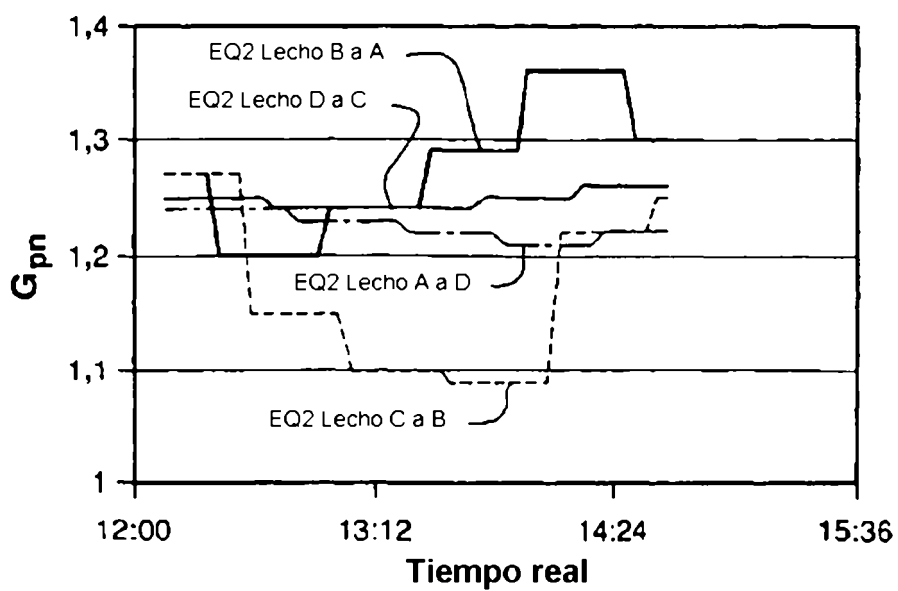


FIG. 10B