

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 955**

51 Int. Cl.:

B01D 53/04 (2006.01)

G05B 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2009** **E 09789764 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2013** **EP 2318116**

54 Título: **Método de control de repesurización de lecho absorbente**

30 Prioridad:

29.07.2008 US 181648

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

25.04.2013

73 Titular/es:

PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 Old Ridgebury Road
Danbury, CT 06810, US

72 Inventor/es:

BLOUIN, STEPHANE

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 401 955 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método de control de represurización de lecho adsorbente

Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con un método para controlar la represurización de un lecho adsorbente de una unidad de adsorción en el que se optimiza la regeneración de los lechos adsorbentes durante la represurización mediante el control del caudal de alimentación de una corriente de alimentación comprimida que es comprimida dentro de un compresor, de tal manera que se minimizan las fluctuaciones dentro del caudal de las corrientes de productos y similar para cada uno de los lechos adsorbentes y la represurización es controlada para conducir los tiempos de represurización para los lechos adsorbentes hacia un objetivo de tiempo de represurización.

10 Antecedentes de la invención

15 Para adsorber uno o más componentes contenidos en una corriente de alimentación para producir una corriente de producto se utilizan unidades adsorbentes. La adsorción se lleva a cabo en lechos adsorbentes que funcionan en un ciclo en fase y fuera de fase de tal manera que mientras un lecho está en línea y adsorbiendo un componente o componentes de la corriente de alimentación el otro lecho se está regenerando fuera de línea. Hay una variedad de ciclos que se emplean en esas unidades adsorbentes, por ejemplo, adsorción por oscilación de presión, adsorción por oscilación de temperatura y adsorción por oscilación de presión de vacío.

20 En un ciclo de adsorción por oscilación de presión, el lecho fuera de línea que se está regenerando es sometido a una fase de derribo de la regeneración en la que el lecho se despresuriza. A partir de ese momento, el lecho se purga con una corriente que tiene una concentración suficientemente baja del componente o los componentes que van a ser adsorbidos que el componente o componentes se someterán a desorción y se llevarán fuera del lecho de la corriente de purga. Esto se conoce como la fase de purga del ciclo. Después de que se completa la fase de purga del ciclo, el lecho se lleva de nuevo a presión con cualquier parte de la corriente de alimentación o parte de la corriente de producto. Esta fase se conoce como represurización. Otros ciclos, tales como adsorción por oscilación de temperatura y adsorción por oscilación de presión de vacío requieren la represurización del lecho fuera de línea para volver a llevarlo a la presión de funcionamiento.

25 Durante la represurización, ya sea parte de la corriente de producto o parte de la corriente de alimentación se introduce en el lecho fuera de línea. Con relación a esto, se abre una válvula de represurización enviando parte de la corriente de alimentación comprimida o la corriente de producto al lecho fuera de línea. Tal válvula es una válvula de control de flujo que es controlada por un controlador de flujo de modo que el caudal de la corriente de producto se mantiene dentro de un objetivo de intervalo. Como se puede apreciar, el caudal de la corriente de producto, no obstante, puede variar.

30 Esta fluctuación puede tener un efecto sobre los equipos de proceso aguas abajo en los que se utiliza la corriente de producto. Por ejemplo, en relación con las plantas criogénicas de separación de aire se utilizan sistemas de adsorción por oscilación de presión y temperatura. Dado que las plantas criogénicas de separación de aire funcionan a una temperatura baja, es necesario eliminar los contaminantes de superior ebullición dentro del aire, por ejemplo, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos. Estos contaminantes podrían congelarse o en el caso de los hidrocarburos podrían alcanzar concentraciones peligrosas en productos de oxígeno. Con el fin de contrarrestar este problema, se utilizan adsorbentes conocidos contenidos dentro de lechos adsorbentes para purificar una corriente de aire de alimentación de tales contaminantes. Sin embargo, la fluctuación de caudal en la corriente de producto, que en caso de una planta criogénica de separación de aire es la corriente de aire purificado y comprimido, afectará a las perezas de producto y las recuperaciones de producto que se han encontrado fluctúan según las fluctuaciones de flujo en la corriente de aire purificado y comprimido. Con el fin de minimizar estas fluctuaciones, se han elaborado sistemas de control en los que se minimiza la fluctuación del caudal de la corriente de producto mediante el aumento del caudal de la corriente de alimentación comprimida alimentada desde un compresor a la unidad de adsorción para contrarrestar ya sea la corriente de alimentación o la corriente de producto que está siendo extraída para fines de represurización.

35 En el documento US-A-4725293 se describe un sistema de adsorción por oscilación de presión (PSA, del inglés *Pressure Swing Adsorption*) que utiliza un tiempo constante de ciclo y un sistema de control para modificar esencialmente de manera automática y continua el flujo de entrada de aire con el fin de asegurar que el nitrógeno producido sólo contiene un intervalo preseleccionado de una impureza que consiste esencialmente en oxígeno y mantener relativamente alto el flujo de salida de nitrógeno.

40 En un tipo de esquema de control empleado en la técnica anterior, se aumenta el caudal de la corriente de alimentación comprimida y, a continuación, se disminuye a velocidades fijas de aumento y disminución. El aumento y la disminución son provocados por el aumento y disminución de la abertura de paletas de guía de entrada en el aire comprimido de alimentación del compresor a la unidad de adsorción. El principio de funcionamiento aquí es que, como la válvula de represurización está inicialmente abierta, existe una gran diferencia de presión entre el lecho fuera de línea y en línea. A medida que las presiones se aproximan a la igualdad hay disponible menos fuerza de conducción. En una relación de presiones de disparo predefinida entre fuera de línea y en línea, que puede ser tan

5 alta como el 80 por ciento, el lecho adsorbente fuera de línea está casi represurizado y, por lo tanto, el caudal se puede disminuir rápidamente. Sin embargo, se ha comprobado que esto conduce a unas prestaciones de represurización que varían debido a la variabilidad inherente de la presión del aire ambiente, las condiciones de temperatura, la concentración de contaminantes en el aire, las prestaciones del lecho, el desgaste de la válvula y la variación de prestaciones del compresor de aire debido al cambio de temperatura del agua de refrigeración.

10 En un esquema de control específico diseñado para eliminar los efectos de los factores externos, tales como los descritos anteriormente, se miden las presiones de lecho entre un lecho fuera de línea y uno en línea y se computa una relación de presiones. Esta relación de presiones se compara continuamente con una relación de presiones preestablecida de disparo. Las paletas de guía de entrada del compresor de aire principal, a continuación, son manipuladas de manera que el caudal de la corriente de alimentación aumenta hasta que se alcanza la relación de presiones de disparo y luego disminuye de nuevo hasta el caudal nominal. El programa de control que rige el funcionamiento de un controlador utilizado en el control de las paletas de guía de entrada utiliza una función de velocidad de aumento que es una función de la relación de presiones del lecho y la relación de presiones de disparo para eliminar el efecto de los factores externos. Además, tal función de velocidad de aumento está diseñada de forma que la velocidad de aumento de la abertura de las paletas de disminuirá a medida que se aproxime la relación de presiones de disparo. La finalidad de esta operación es eliminar efectos inerciales de la rueda del compresor que inhibirán que el creciente caudal sea disminuido después de alcanzar la relación de presiones de disparo y también variar mínimamente el caudal de la corriente de alimentación comprimida según sea necesario para represurizar el lecho fuera de línea. Después del aumento, la abertura de las paletas de guía de entrada se disminuye según una velocidad fija hasta que se alcanza el caudal nominal. El problema que queda en este tipo de control es que la disminución todavía se ve afectada por factores externos y los efectos inerciales pueden producir un exceso cuando el caudal de la corriente de aire comprimido se devuelve al caudal nominal.

25 Un problema adicional con el esquema de control mencionado anteriormente es que la respuesta del caudal de producto no es igual con respecto a cada uno de los lechos y, por tanto, dependiendo del lecho, habrá más o menos perturbaciones en el caudal de producto. Un asunto relacionado se refiere a la necesidad de reducir el tiempo de represurización. Una reducción del tiempo dedicado a la represurización de un lecho adsorbente ayudará a prolongar el tiempo de la fase de purga y a su vez ampliar el tiempo de adsorción porque un tiempo de purga más largo dará como resultado un lecho adsorbente más limpio. La ampliación del tiempo de adsorción, de ese modo, reducirá la frecuencia de cambios de lecho y el consiguiente desgaste de válvula y perturbaciones del caudal de producto que se propaga a los equipos aguas abajo utilizando el producto de la adsorción. Dicho de otra manera, la disminución del tiempo de represurización permitirá el aumento del tiempo de ciclo de lecho. El aumento del tiempo de ciclo de lecho es importante en el caso de una planta de separación de aire para que elimine el número de veces de lechos adsorbentes que cambian de estado en línea y fuera de línea. Sin embargo, las reducciones del tiempo de represurización por lo general conducen a perturbaciones amplificadas de presión y/o flujo de aire que llega a equipos aguas abajo que pueden ser particularmente sensibles a las mismas, por ejemplo, las unidades de separación de aire. La razón de esto es el gran número de elementos independientes del equipo implicado, por ejemplo, dos o más lechos adsorbentes, válvulas y compresor de aire, etc. Además, el tiempo de represurización no puede reducirse a un valor que produzca fluidización de la sustancia adsorbente dentro de los lechos adsorbentes.

40 Cabe señalar que el tiempo de ciclo de lecho adsorbente se ajusta de manera rutinaria en la técnica anterior para mantener la pureza de la corriente de producto. Por ejemplo, si disminuye la pureza de la corriente de producto, puede reducirse el tiempo de ciclo de lecho y viceversa. Sin embargo, dado que en los esquemas de control de la técnica anterior, tal como se ha señalado anteriormente, el tiempo de represurización no se controla, los lechos adsorbentes no serán regenerados igualmente porque variará el tiempo dedicado a las purgas de los lechos adsorbentes. Como resultado, la capacidad de ampliar los tiempos de ciclo de lecho estará limitada por el lecho adsorbente que ha sido regenerado menos. Como se puede apreciar, el lecho adsorbente menos regenerado no será capaz de permanecer en un modo de funcionamiento en línea adsorbiendo las impurezas dentro de la alimentación tanto como un lecho que ha sido regenerado más debido a que el lecho adsorbente menos regenerado contiene más impurezas después de la regeneración.

50 Como se verá, entre otras ventajas, la presente invención permite que el control sea ejercido sobre la represurización de lechos adsorbentes, de tal manera que se minimizan las perturbaciones del caudal de producto y los tiempos de represurización de lechos adsorbentes son conducidos hacia un objetivo para minimizar los tiempos de represurización y para permitir la optimización del funcionamiento de la unidad de adsorción.

Compendio de la invención

55 La presente invención proporciona un método para controlar la represurización de lechos adsorbentes dentro de una unidad de adsorción. Según este método, uno de los lechos adsorbentes es represurizado mientras está fuera de línea con una corriente de represurización durante la regeneración de uno de los lechos adsorbentes, de tal manera que uno de los lechos adsorbentes se lleva de nuevo a una presión de funcionamiento y está listo para ser llevado de nuevo a un estado en línea. Se mide el caudal de corriente de producto de una corriente de producto producida por la unidad de adsorción y se controla el caudal de la corriente de represurización, de tal manera que el caudal de la corriente de producto permanece dentro de un objetivo de intervalo.

5 Durante la represurización del uno de los lechos adsorbentes, se controla un compresor que alimenta una corriente de alimentación comprimida a la unidad de adsorción de tal manera que un caudal de alimentación de la corriente de alimentación comprimida aumentará desde un caudal nominal hasta que una relación de presiones de lecho adsorbente del uno de los lechos adsorbentes en el estado fuera de línea y otro de los lechos adsorbentes en el estado en línea alcance una relación de presiones de disparo y, a continuación, regresará al caudal nominal después de que se alcance la relación de presiones de disparo en un objetivo de período de tiempo de disminución. Con relación a esto, el término “caudal nominal” tal como se emplea en esta memoria y en las reivindicaciones significa el caudal de la corriente de alimentación comprimida antes de la fase de represurización y directamente después de la fase de represurización. El caudal de alimentación es controlado con respecto a cada uno de los lechos adsorbentes según una función de velocidad de aumento y una función de velocidad de disminución.

10 La función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución para cada uno de los lechos adsorbentes se afina de tal manera que se minimiza la desviación máxima en la respuesta del caudal de producto desde el caudal nominal durante la represurización de cada uno de los lechos adsorbentes y es conducida hacia un valor que es el mismo para todos los lechos adsorbentes. Además, la función de aumento se ajusta para cada uno de los lechos adsorbentes durante el funcionamiento de la unidad de adsorción de tal manera que los tiempos de represurización para cada uno de los lechos adsorbentes son conducidos hacia un objetivo de tiempo de represurización.

15 La variación de las fluctuaciones en el caudal de la corriente de producto producida por las prestaciones variables del lecho se minimiza como resultado de dicho control, ya que se minimiza la desviación máxima del caudal de corriente de producto desde el caudal nominal durante la represurización y es conducida hacia un valor que es el mismo para todos los lechos adsorbentes. Por otra parte, dado que el tiempo de represurización puede ser conducido hacia un objetivo, tal objetivo puede seleccionarse para minimizar el tiempo de represurización sin crear grandes oscilaciones de magnitud variable en el caudal de la corriente de producto, como se ha descrito anteriormente. Al mismo tiempo, dado que los tiempos de represurización se conducen hacia un objetivo, los tiempos de purga también serán conducidos a períodos de tiempo que son similares para todos los lechos adsorbentes. La ventaja de esto es que los lechos serán regenerados más igualmente que tendrá como resultado la capacidad de ampliar los tiempos de ciclo de lecho. Dicho esto, la capacidad de ampliar tiempos de ciclo de lecho no debe tomarse como una limitación de que en las aplicaciones de la presente invención que son diferentes de la separación de aire, la composición de la corriente de alimentación puede variar rápidamente y existe la necesidad de controlar la pureza mediante la variación de tiempos de ciclo de lecho de una manera más rápida que la que se encuentra en la separación de aire. Para tales aplicaciones de la presente invención, una ventaja de controlar el tiempo de represurización de lecho permite que la pureza del producto sea controlada más rápidamente mediante la variación de tiempos de ciclo de lecho.

20 Preferiblemente, la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución son a su vez funciones de la relación de presiones del lecho adsorbente y la relación de presiones de lecho de disparo, de tal manera que el caudal de alimentación tiene una velocidad de aumento variable que disminuye a medida que se aproxima la relación de presiones de disparo y una velocidad de disminución variable que disminuye a medida que las presiones de lecho adsorbente se aproximan entre sí.

25 El compresor puede ser controlado por un parámetro de control que influye en el caudal de alimentación. Este parámetro de control es ajustado continuamente a una frecuencia de control y según la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución de cada uno de los lechos adsorbentes de tal manera que cada ajuste del parámetro de control tiene como resultado un nuevo valor del parámetro de control que se aplica al control del compresor. El nuevo valor del parámetro de control es determinado por la medición de las presiones de lecho, el cálculo de la relación de presiones de lecho, la comparación de la relación de presiones con la relación de presiones de disparo y el cálculo del nuevo valor del parámetro de control.

30 El nuevo valor del parámetro de control se determina añadiendo a un valor actual del parámetro de control, un aumento gradual calculado según la función de velocidad de aumento cuando la relación de presiones de lecho está por debajo de la relación de presiones de disparo para aumentar de ese modo el caudal de alimentación a la velocidad de aumento variable. El nuevo valor del parámetro de control determinado restando del valor actual del parámetro de control, una disminución gradual calculada según la función de velocidad de disminución después de que la relación de presiones de lecho ha alcanzado la relación de presiones de disparo para devolver el caudal de la corriente de alimentación comprimida al caudal nominal.

35 La función de velocidad de aumento puede establecerse igual a un producto de un factor de velocidad de aumento y una suma de 1,0 más un primer factor de ajuste por diferencia de una mitad de la relación de presiones de disparo y la relación de presiones de lecho. La función de velocidad de disminución puede establecerse igual a un producto de un factor de velocidad de disminución y una cantidad igual a una diferencia entre un segundo factor de afinación multiplicado por la relación de presiones de lecho y un tercer factor de afinación. El segundo factor de afinación en tal caso es igual a una diferencia de un valor inicial de la cantidad a la relación de presiones de disparo menos un valor final de la cantidad a la presión nominal dividido por una diferencia de la relación de presiones de disparo y 1,0. El tercer factor de afinación es igual al primer factor de afinación menos el valor final de la cantidad.

5 Se puede calcular un promedio de ejecución del tiempo de represurización en la frecuencia de control de cada uno de los lechos adsorbentes para producir un tiempo de represurización promedio. Se utiliza un nuevo factor de velocidad de aumento como factor de velocidad de aumento y se utiliza un nuevo primer parámetro de afinación como el primer factor de afinación si el tiempo de represurización promedio no es igual a un objetivo de tiempo de represurización. El nuevo factor de velocidad de aumento es directamente proporcional a un valor actual del factor de velocidad de aumento multiplicado por el tiempo de represurización promedio dividido en el objetivo de tiempo de represurización. El nuevo primer parámetro de afinación es directamente proporcional a un valor actual del primer parámetro de afinación multiplicado por el tiempo de represurización promedio dividido en el objetivo de tiempo de represurización. La función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución se afinan mediante la selección de cada uno de los valores de lechos adsorbentes para la relación de presiones de disparo, el factor de velocidad de disminución, el segundo factor de afinación, el tercer factor de afinación, el objetivo de período de tiempo de disminución y los valores iniciales para el factor de velocidad de aumento y el primer factor de afinación.

10 En cualquier realización de la presente invención, el parámetro de control puede ser una posición de paletas de guía de entrada de las paletas de guía de entrada del compresor. Las paletas de guía de entrada se colocan en aberturas sucesivamente mayores para aumentar el caudal de alimentación y en aberturas sucesivamente menores para disminuir el caudal de alimentación. Por otra parte, la unidad de adsorción puede funcionar según un ciclo de adsorción por oscilación de presión y la corriente de represurización puede ser parte de la corriente de producto. Como un punto adicional, en cualquier realización de la presente invención, la represurización del uno de los lechos adsorbentes puede ser controlada únicamente mediante el uso de la válvula de represurización si el parámetro de control está en un valor que no permite un aumento en el caudal de alimentación. En ese tipo de control, la represurización del uno de los lechos adsorbentes es conducida hacia el objetivo de tiempo de represurización.

Breve descripción de los dibujos

25 Mientras que la memoria descriptiva concluye con unas reivindicaciones que señalan claramente el objeto que los solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se comprenderá mejor si se toma conjuntamente con los dibujos que se acompañan en los que:

La Fig. 1 es una ilustración esquemática de una unidad de adsorción y el compresor asociado y un controlador según la presente invención;

La Fig. 2 es una representación gráfica del ciclo fuera de fase al que se someten los lechos adsorbentes de la Fig. 1;

30 La Fig. 3 es una representación gráfica del caudal de la corriente de alimentación comprimida y la respuesta de la corriente de producto sin control alguno de la represurización de un lecho adsorbente;

La Fig. 4 es un diagrama de flujo lógico de un esquema de control según la presente invención para controlar la represurización de los lechos adsorbentes;

La Fig. 5 es una representación gráfica del caudal de la corriente de alimentación comprimida y la respuesta de la corriente de producto durante la represurización que se espera con un esquema de control sin necesidad de afinar; y

35 La Fig. 6 es una representación gráfica del caudal de la corriente de alimentación comprimida y la respuesta de la corriente de producto durante la represurización que se logra con el esquema de control que se muestra en la Fig. 4.

Descripción detallada

40 Haciendo referencia a la Fig. 1 se ilustra un controlador 1 según la presente invención para su uso en relación con el control de una unidad de adsorción 2 por oscilación de presión y su compresor asociado 3. Una corriente de alimentación 10 es comprimida por el compresor 3 para producir una corriente de alimentación comprimida 11 que se alimenta a la unidad de adsorción 2 por oscilación de presión para producir una corriente de producto 12 que es alimentada a un depósito criogénico 14 de unidad de separación de aire ("ASU") como el aire de alimentación principal.

45 Se entiende que la utilización de la presente invención en relación con el depósito criogénico 14 de separación de aire es solamente a título ilustrativo y no pretende ser limitativo. Dicho esto, como sabrán los expertos en la técnica, el depósito criogénico 14 de separación de aire tendría una o más columnas de destilación para rectificar el aire contenido en la corriente de alimentación 10 para producir un producto de nitrógeno o, posiblemente, también un producto de oxígeno y un producto de argón. Con relación a esto, el depósito criogénico 14 de unidad de separación de aire también está provisto de un intercambiador de calor principal para enfriar la corriente de producto 12 a una temperatura adecuada para su rectificación en la una o más columnas de destilación.

50 En tal depósito criogénico 14, parte de la corriente de producto 12 puede ser comprimida aún más, ser enfriada parcialmente en el intercambiador de calor principal y, a continuación, ser introducida a un turboexpansor para generar una corriente de escape utilizada para impartir refrigeración al depósito criogénico de unidad de separación de aire. En el caso generador de nitrógeno de una sola columna, un fondo de una columna rica en oxígeno puede ser parcialmente vaporizado en un condensador de cabeza utilizado en la generación de reflujo a la columna y, a

- 5 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55
- continuación, ser expandido para generar una corriente de escape que se introduce en el intercambiador de calor principal para impartir refrigeración. Tal corriente de escape se descarga desde el intercambiador de calor principal como una corriente de nitrógeno de desecho. En el caso de una unidad de doble columna con columnas de mayor y menor presión asociadas funcionalmente entre sí con una relación de transferencia de calor, una corriente de nitrógeno de desecho utilizada para controlar la pureza de un producto de nitrógeno puede ser retirada de la columna de presión inferior y, a continuación, ser calentada por completo dentro del intercambiador de calor principal. En cualquier caso, una corriente de purga 16 puede descargarse desde el depósito criogénico 14 de unidad de separación de aire que puede consistir en la corriente de nitrógeno de desecho formada de una manera descrita anteriormente. Como es bien sabido en la técnica, son posibles otras fuentes de corriente de purga 16.
- La unidad de adsorción 2 en la realización ilustrada está purificando de ese modo la corriente de alimentación 10 de contaminantes de ebullición superior tales como vapor de agua y dióxido de carbono y posiblemente también monóxido de carbono mediante el paso de la corriente de alimentación 10 a los lechos adsorbentes 16 y 18. La unidad de adsorción 2 funciona según un ciclo de adsorción por oscilación de presión. Una vez más, se entiende que esto es sólo para fines de ilustración y la invención tendría aplicación en otros ciclos tales como adsorción por oscilación de temperatura o adsorción por oscilación de presión de vacío. Por otra parte, tales unidades de adsorción pueden emplear más de dos lechos.
- En la unidad de adsorción 2, los lechos adsorbentes 16 y 18 son sometidos a un ciclo fuera de fase en donde mientras el lecho adsorbente 16 está en línea y adsorbiendo impurezas, el lecho adsorbente 18 está fuera de línea y siendo regenerado y viceversa. Después de la regeneración del lecho adsorbente 18, el lecho adsorbente 18 se lleva de nuevo a en línea y el lecho adsorbente 16 es regenerado.
- Con una referencia adicional a la Fig. 2, cada uno de los lechos adsorbentes 16 y 18 son sometidos a una etapa de "Alimentación" en el ciclo fuera de fase en el que la corriente de alimentación 10 después de la compresión en el compresor 3 como corriente de alimentación comprimida 11 es introducida en uno de los lechos adsorbentes 16 y 18 mientras se está regenerando el otro de los lechos adsorbentes 16 y 18. Por ejemplo, durante la etapa de "Alimentación" de lecho adsorbente 16 las válvulas 20 y 24 se ponen en posiciones abiertas para producir la corriente de producto 12. Durante este tiempo, el lecho adsorbente 18 es sometido a la regeneración.
- En una primera etapa de la regeneración, el lecho adsorbente 18 es sometido a una fase de derribo ("BD"). Durante el derribo, las válvulas 26 y 28, asociadas con el lecho adsorbente 16 se ponen en posiciones cerradas y las válvulas 30 y 32 asociadas con el lecho adsorbente 18 se ponen en posiciones cerradas. Además, la válvula 34 se pone en una posición abierta y la válvula 36 se pone en una posición cerrada. Esto permite al lecho adsorbente 18 ser despresurizado a la presión atmosférica. A partir de ese momento, el lecho adsorbente 18 es sometido a una etapa de purga ("Purga") con la corriente de purga 16 poniendo la válvula 36 en una posición abierta para hacer que las impurezas sean purgadas del lecho adsorbente 18.
- Después de haber sido purgado, el lecho adsorbente 18 es sometido a una etapa de represurización ("RP"). Durante este tiempo, las válvulas 36 y 34 se ponen en una posición cerrada mientras que la válvula 32 se pone en una posición abierta y la válvula 30 se pone en una posición cerrada. Además, la válvula de represurización 38 está abierta para permitir que parte de la corriente de producto 12 sea utilizada para llevar el lecho adsorbente 18 de nuevo a la presión de funcionamiento. Sin embargo, se entiende que también es posible la represurización con parte de la corriente de alimentación comprimida 11. Después de que se complete la represurización, el lecho adsorbente 18 se lleva de nuevo a en línea y el lecho adsorbente 16 es regenerado de la misma manera mediante la manipulación de las válvulas 20, 24, 26 y 28. Todas estas fases y el funcionamiento de la unidad de adsorción 2 por oscilación de presión son totalmente convencionales y, como tal, serían conocidas por un experto en la técnica.
- Suponiendo la represurización del lecho adsorbente fuera de línea 18, la válvula de represurización 38 es abierta progresivamente mientras la válvula 32 se pone en la posición abierta. Como se indicó anteriormente, esto permite que parte de la corriente de producto 12 entre al lecho adsorbente 18 para represurizar el lecho adsorbente 18. Como resultado de la represurización, el caudal de corriente de producto 12 disminuiría de otro modo pero por el hecho de que se aumenta el caudal de la corriente de alimentación 10. El caudal de la corriente de alimentación 10 se aumenta con la abertura de las paletas de guía de entrada 40 asociadas con el compresor 3. Las paletas de guía de entrada son un componente conocido de tales compresores y se proporcionan para ajustar el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11 producida por el compresor 3. La corriente de alimentación comprimida 11 se alimenta alternativamente a los lechos adsorbentes 16 y 18, y durante la regeneración del lecho adsorbente 18, como se ha indicado anteriormente, la válvula 20 se pone en una posición abierta y la válvula 30 se pone en la posición cerrada. La acción de las paletas de guía de entrada 40 es controlada por una señal generada por el controlador 1 enviada a través de una línea de transmisión de datos 42.
- El caudal de la corriente de producto 12 es supervisado continuamente por un caudalímetro 44 que genera una señal referible al caudal de corriente de producto 12. La señal desde el caudalímetro 44 es introducida en un programa de control dentro del controlador 1 que reacciona para ajustar la válvula de represurización 38 para controlar el caudal de la corriente de represurización, de manera que el caudal de la corriente de producto 12 permanece dentro de un objetivo de intervalo de flujo. Con relación a esto, se proporciona una línea de transmisión

de datos 46 para transmitir la señal desde el caudalímetro 44 al controlador 1. Los métodos de control conocidos para tal finalidad incluyen sistemas de control proporcionales, integrales y diferenciales.

Cabe señalar que el programa de control, también en el controlador 1 de una manera bien conocida en la técnica, está diseñado para controlar la secuencia de las válvulas ilustradas 20, 24, 26, 28, 30, 32, 34 y 36. El controlador 1 puede ser un controlador lógico programable que se puede obtener de diversos proveedores, por ejemplo, un controlador ALLEN-BRADLEY® que puede obtenerse de Rockwell Automation de Milwaukee, WI EE.UU. Dichos controladores incorporan un programa de control que se puede programar para tales fines como ya se ha hablado anteriormente, por ejemplo, el control de la secuenciación de lechos y de la válvula de represurización 38, y también, para llevar a cabo diversos aspectos de la presente invención. También se entiende que determinadas unidades de absorción se pueden obtener de los fabricantes con sistemas de control. Típicamente, tales sistemas de control se pueden programar además para llevar a cabo la presente invención. Es posible que se pueda proporcionar un controlador independiente que incorporaría la lógica de la presente invención, con el fin de alimentar datos de control a un controlador existente.

Con una breve referencia a la Fig. 3, se ilustran ilustraciones de la técnica anterior del caudal de la corriente de producto 12 y el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11. En tal ilustración de la técnica anterior, una unidad de adsorción por oscilación de presión, como la que se muestra en la Fig. 1, se hace funcionar de modo que el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11 se mantiene constante durante la represurización. La válvula de represurización 38 está, sin embargo, ajustada para represurizar el lecho fuera de línea. Como se ilustra, durante cada presurización de cualquiera de los lechos adsorbentes 16 y 18, se produce una disminución del caudal de corriente de producto 12. Como se ha indicado anteriormente, esta fuerte disminución del caudal puede tener un efecto particularmente perjudicial en el funcionamiento de plantas de separación de aire.

Con el fin de contrarrestar esa disminución del caudal de corriente de producto 12 durante la represurización, la posición de las paletas de guía de entrada 40 puede ajustarse para aumentar el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11. Con referencia a la Fig. 4, se ilustra la lógica de control de la presente invención en la que la posición de las paletas de guía de entrada está ajustada para tales fines durante la represurización de un lecho adsorbente fuera de línea. La lógica incorpora varias características. Una característica es la de controlar la posición de las paletas de guía de entrada a través del uso de funciones de velocidad de aumento y disminución que funcionan independientemente de las condiciones externas, como ya se ha hablado anteriormente. Por otra parte, ambas funciones de velocidad de aumento y de disminución pueden funcionar para minimizar el impacto de efectos inerciales de la rueda del compresor que pueden producir potencialmente un reboso durante la transición del aumento de caudal de compresor a la disminución en la presión de disparo como en la técnica anterior, sino también, cuando el caudal nominal del aire del compresor se ha de recuperar después de que se complete la represurización. Otra característica es que ambas funciones de velocidad de aumento y de disminución son afinadas de modo que la respuesta del caudal de la corriente de producto 12 sea sustancialmente el mismo para cada uno de los lechos adsorbentes 16 y 18. En otra característica, cada uno de los lechos adsorbentes es conducido hacia un objetivo de tiempo de represurización durante la represurización. Una característica adicional es que la lógica alerta al personal operativo de modo que se puede ajustar el tiempo de ciclo de lecho durante el que son regenerados los lechos adsorbentes 16 y 18 y están en línea. Aunque la realización comentada a continuación utiliza control de paletas de guía de entrada 40, se entiende que los mismos conceptos podrían aplicarse a un compresor en el que el parámetro de control fuera la velocidad del compresor de un compresor de velocidad variable. Entonces, en lugar de calcular las diferencias de paletas de guía de entrada, la misma lógica podría modificarse para calcular las diferencias de velocidad del compresor.

En primer lugar se comentará la parte de lógica de control en la que el ajuste de las paletas de guía de entrada se controla independientemente de las condiciones externas y con minimización del impacto de los efectos inerciales del compresor. Cabe señalar que el programa que incorpora esa lógica de control se ejecuta continuamente a la frecuencia de control que se ejecuta mucho más rápido que el tiempo de represurización y a una frecuencia en términos de una fracción de segundo. En cada ejecución del programa, los valores actuales de las presiones de lecho de los lechos adsorbentes 16 y 18 son alimentadas en el controlador 1 por medio de los transductores de presión 50 y 52 que están vinculados con el controlador 1 mediante cables de transmisión de datos 53 y 54, respectivamente. Además, la posición actual de las paletas de guía de entrada 40 del compresor 3 ("IGV(k)") es enviada a través de la línea de transmisión de datos 42 al controlador 1 y también se leen en el programa de control que reside dentro del controlador 1. Además, en una ejecución inicial del programa de control también se lee una posición inicial de las paletas de guía de entrada 40 ("IGV(0)") en el programa y para los fines que se comentarán en el nivel de dióxido de carbono. Esta fase de ejecución del programa se indica en la etapa 60 de ejecución del programa.

La ejecución del programa, a continuación, procede a la etapa 61 de ejecución de programa en la que la posición inicial de las paletas de guía de entrada 40 se prueba contra una posición de abertura máxima "IGVMax" menos un factor "D". Aquí el problema es que las paletas de guía de entrada 40 están cerca de una posición de abertura máxima en la que prácticamente las paletas de guía de entrada podrían no estar lo suficientemente abiertas para efectuar un aumento del caudal de la corriente de alimentación comprimida 11 para contrarrestar el flujo del producto o alimentación que pasa al lecho adsorbente fuera de línea. Esto puede ocurrir en condiciones calurosas y húmedas en las que las paletas de guía de entrada 40 están cerca de su máxima posición de abertura. Como tal, "D" se

selecciona para representar la diferencia en la abertura de las paletas de guía de entrada 40 que tendría que producirse para que el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11 aumentara para contrarrestar el flujo del lecho adsorbente fuera de línea. Si la prueba es negativa, la ejecución procede a la etapa 62 en la que la válvula de represurización 38 se pone en un modo en el que su acción es controlada en respuesta al flujo de la corriente de producto 12. Si la prueba es afirmativa, entonces como se indica en 63, y como se comentará aún más, la válvula de represurización 38 se coloca en control de presión, y las paletas de guía de entrada 40 no son manipuladas.

Suponiendo que la prueba de la etapa 61 es negativa, la ejecución del programa, a continuación, procede a la etapa 64 de ejecución de programa en la que se calcula la relación de presiones de lecho entre los lechos adsorbentes 16 y 18. Suponiendo que el lecho adsorbente 18 acaba de ser sometido a la fase de purga de regeneración, la relación de presiones de lechos está entre las presiones de lecho adsorbente del lecho adsorbente 18 y el lecho adsorbente 16 porque la presión de lecho del lecho adsorbente 16 es mayor que la del lecho adsorbente 18. Cuando el lecho adsorbente 16 está experimentando la regeneración, la relación de presiones de lecho estará entre la presión de lecho adsorbente del lecho adsorbente 16 y el lecho adsorbente 18 porque el lecho adsorbente 16 tiene una presión de lecho adsorbente menor que la del lecho adsorbente 18.

Después de que se haya computado la relación de presiones se prueba luego contra una relación de presiones de disparo "PRatioTrig" como se indica en la etapa 65 de ejecución de programa. La relación de presiones de disparo representa un valor preestablecido en el programa de control asociado con el controlador 1. Si la relación de presiones es menor que la relación de presiones de disparo, entonces se calcula un cambio en las paletas de guía de entrada como se indica en la etapa 66 de ejecución de programa para aumentar el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11. El movimiento diferencial de paletas de "DIGV" se calcula a partir de una función de velocidad de aumento que es dada por la siguiente ecuación:

$$\text{DIGV} = \text{factor de velocidad de aumento} (1 + \text{alfa} * (0,5 * \text{PRatioTrig} - \text{Pratio}))$$

"alfa" es un primer factor de afinación; "PRatioTrig" es la relación de presiones de disparo y "Pratio" es la relación de presiones de las presiones de lecho adsorbente entre el lecho adsorbente fuera de línea y el lecho adsorbente en línea. Como es evidente, a medida que aumenta la presión dentro del lecho fuera de línea, "DIGV" aumentará en primer lugar durante la ejecución del programa de control y, a continuación, disminuirá durante las posteriores ejecuciones hasta que se alcance la relación de presiones de disparo. Como tal, el aumento del caudal de la corriente de alimentación comprimida 11 será variable.

Como se indica en la etapa 68 de ejecución de programa, el cambio de movimiento diferencial de paletas de guía de entrada "DIVG" o en otras palabras, un movimiento gradual de las paletas de guía de entrada 40, que se calcula en la etapa 66 de ejecución de programa, se añade a la posición actual de las paletas de guía de entrada "IGV (k-1)", para determinar una nueva posición de paletas de guía de entrada "IGV(k)". La nueva posición de las paletas de guía de entrada 40 se prueba luego frente a la posición inicial de las mismas, leída previamente en el programa de control. Durante el aumento del caudal, la nueva posición de paletas de guía de entrada siempre será mayor que la posición inicial y, como tal, como se indica en la etapa 70 de ejecución de programa, una orden es enviada por el controlador 1 a las paletas de guía de entrada 40 para abrir las paletas de guía de entrada a la nueva posición de paletas de guía de entrada "IGV(k)", que a continuación se graba en el programa de control como la posición actual de las paletas de guía de entrada 40. En el siguiente momento de ejecución la marca de tiempo "k" se aumenta en uno y el último valor de abertura de paletas de guía de entrada se convierte en "IGV(k-1)". Después de la etapa 70 de ejecución de programa, el programa vuelve a la etapa 64 de ejecución de programa.

Las paletas de guía de entrada 40 están abiertas hasta que la relación de presiones de lecho es igual a la relación de presiones de disparo. En ese punto, la prueba en la etapa 65 de ejecución de programa es negativa y las paletas de guía de entrada 40 son controladas de modo que se cierran y devuelven el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11 a un nivel nominal que existía antes de que se abrieran las paletas de guía de entrada 40. Esto se lleva a cabo en un periodo de tiempo fijo en el que se aumenta un temporizador según se indica en la etapa 72 de ejecución de programa para obtener un tiempo actual "T". Como se indica en la etapa 74 de ejecución de programa, el momento actual "T" es probado luego contra un tiempo preprogramado "IGVTIMER" que es una limitación de tiempo en la que el caudal de la corriente de alimentación comprimida 11 debería regresar al caudal nominal. Suponiendo que el tiempo "T" es menor que "IGVTIMER", se computa una disminución en la abertura de las paletas de guía de entrada 40 como se indica en la etapa 76 de ejecución de programa. Sin embargo, si el tiempo "T" es igual o mayor que "IGVTIMER", la lógica de programación procede con la etapa 75 de ejecución de programa cuando se completa la represurización.

Cabe señalar que se han utilizado esquemas de control de la técnica anterior en los que las paletas de guía de entrada están abiertas hasta que se ha alcanzado la relación de presiones de disparo como se describe anteriormente, y luego se disminuye durante un periodo de tiempo fijo. En tales sistemas de control, la función de disminución era simplemente a una velocidad constante de disminución. Sin embargo, en la presente invención, las paletas de guía de entrada 40 se devuelven a una posición en la que se obtiene de nuevo un caudal nominal de la corriente de alimentación comprimida 11, se calcula una velocidad de disminución de diferencial ("DIGV") en la etapa 76 de ejecución de programa. "DIGV" en la etapa 76 de ejecución de programa se calcula según una función de velocidad de disminución que es dada por la siguiente ecuación:

DIGV = factor de velocidad de disminución ($C1 * Pratio - C2$)

5 En las dos ecuaciones anteriores los valores para el "Factor de velocidad de aumento", el "Factor de velocidad de
 10 disminución" y los factores de afinación C1 y C2 deben seleccionarse todos juntos, de modo que las manipulaciones
 del caudal de la corriente de alimentación tal como se describe anteriormente generen un volumen de gas por lo
 15 menos equivalente al volumen vacío del lecho adsorbente fuera de línea. Como es evidente, a medida que aumenta
 la relación de presiones de lecho o, en otras palabras, la represurización se aproxima a la finalización, cada cierre
 gradual de las paletas de guía de entrada 40 podría hacerse más grande o más pequeño a través de la elección de
 factores de afinación C1 y C2. Preferiblemente, cada cierre puede hacerse más pequeño cuando se aproxima la
 finalización para evitar el exceso al final del ciclo represurización. El hecho de que la velocidad de disminución
 también sea una función de "PRatio" hace que varíe como resultado de los cambios en el lecho fuera de línea o las
 condiciones de flujo de alimentación. Como tal, la velocidad de disminución en el caudal de la corriente de
 alimentación comprimida 11 también será variable. C1 en la ecuación se establece igual a la diferencia entre un
 valor inicial deseado y el valor final de la cantidad " $C1 * Pratio - C2$ " dividida por una diferencia de la relación de
 presiones de disparo y 1,0. C2 es igual a la diferencia entre C1 y el valor final deseado de la cantidad " $C1 * Pratio -$
 C2". Los valores iniciales y finales de dicha cantidad se seleccionan sobre la base de la rapidez con la que pueden
 manipularse las paletas de guía de entrada 40 mientras se mantiene un funcionamiento seguro del compresor 3.

20 Después de que se ha calculado la disminución de diferencial, la ejecución del programa de control procede a la
 etapa 68 de ejecución de programa y como un valor negativo, la disminución de diferencial se añade a la posición
 actual de las paletas de guía de entrada 40 "IGV(k-1)" para producir una nueva posición de las paletas de guía de
 25 entrada "IGV(k)". Suponiendo que la nueva posición calculada "IGV(k)" es mayor que la posición inicial de las
 paletas de guía de entrada en el inicio de represurización, "IGV(0)", el programa de control procede con la etapa 70
 de ejecución de programa. Como tal etapa, se envía una orden a las paletas de guía de entrada 40 y la nueva
 posición actual de las paletas de guía de entrada 40 se registra como "IGV(k)", y la ejecución de programa vuelve a
 la etapa 64 de ejecución de programa. Si, sin embargo, la nueva posición calculada de las paletas de guía de
 30 entrada 40 es menor que la posición inicial de las paletas de guía de entrada 40, entonces la represurización se
 completa y la ejecución procede a la etapa 75 de ejecución de programa y se ejecuta de nuevo a la frecuencia de
 controlador.

30 Volviendo a la etapa 63 de ejecución de programa, en la que la represurización de los lechos adsorbentes 16 y 18
 tiene que ser controlada por la válvula de represurización 38 y no las paletas de guía de entrada 40, la ejecución del
 programa procede a la etapa 77 de ejecución de programa en la que la válvula de represurización 38 sigue una
 trayectoria para la represurización del lecho adsorbente fuera de línea, 16 o 18. Aunque no se ilustra, esta lógica
 incorpora un temporizador que es inicialmente fijado a "0". Un objetivo de velocidad de represurización se calcula
 entonces restando la presión del lecho adsorbente fuera de línea del lecho adsorbente en línea y dividiendo el
 mismo por un objetivo de tiempo de represurización.

35 La válvula de represurización 38 se entreabre luego a una pequeña abertura percentil y, a continuación, a una
 frecuencia de control, que puede ser un segundo, se calcula la presión diferencial real de lecho restando la presión
 de lecho fuera de línea de la presión de lecho en línea. Además, se calcula una presión diferencial esperada de
 lecho restando de la presión del lecho adsorbente en línea, una cantidad igual al objetivo de velocidad de
 40 represurización y el valor actual del temporizador. A partir de esto se calcula una presión de compensación que es la
 diferencia entre la presión diferencial real de lecho y la presión diferencial esperada de lecho. Un cambio en la
 apertura de la válvula de represurización como abertura percentil se calcula entonces añadiendo a un cuarto factor
 de afinación un producto de la presión de compensación y un quinto factor de afinación. La nueva abertura de
 45 válvula, de nuevo como un percentil, será la suma del percentil de abertura actual de la válvula de represurización
 38 y el cambio en la abertura de válvula de represurización de la válvula de represurización 38. Cabe señalar que
 también existe lógica de control como se conoce en la técnica para traducir la abertura percentil en movimiento de
 válvula de la válvula de represurización 38.

50 Como es evidente a partir de la descripción anterior, si la presión de cualquiera de los lechos adsorbentes 16 y 18
 fuera de línea, está por debajo de su objetivo, entonces la presión de compensación será mayor que cero, lo que
 provoca un aumento para permitir que la presión del lecho fuera de línea alcance su valor objetivo y viceversa.
 Como tal, la represurización es controlada de manera que el lecho adsorbente fuera de línea es conducido hacia el
 objetivo de tiempo de represurización que puede ser el mismo tiempo que se puede establecer, como se comentará
 más adelante, para modificar los factores de afinación de la función de velocidad de aumento. Cabe señalar, que el
 cuarto y quinto factor de afinación se seleccionan todos juntos, de modo que la represurización puede completarse
 dentro del objetivo de tiempo.

55 Sin embargo, si se alcanza la etapa 62 de ejecución de programa y la represurización va a ser controlada por las
 paletas de guía de entrada 40, y dado que la velocidad de aumento y la velocidad de disminución para la abertura de
 las paletas de guía de entrada 40 se computa según las funciones de la relación de presiones de lecho y la relación
 de presiones de disparo, los efectos de la densidad de la corriente de alimentación 10 y otros factores ambientales
 no afectarán a la represurización de los lechos adsorbentes 16 y 18. Sin embargo, si el factor de velocidad de
 60 aumento, Alfa, el factor de velocidad de disminución, C1 y C2 y el período de tiempo limitado para la disminución de
 la colocación de las paletas de guía de entrada "IGVTIMER" se aplican uniformemente a todos los lechos

adsorbentes 16 y 18, tal como se indica en la Fig. 5, la desviación en el caudal de la corriente de producto 12 desde el caudal nominal de la corriente de producto 12 que existía antes de que la represurización varía de un lecho a otro. Según se muestra en la Fig. 5, la fluctuación de caudal del lecho adsorbente 18 es mayor que del lecho adsorbente 16. En otras palabras, según se mide desde los picos de las curvas durante cada represurización del lecho adsorbente 18, la máxima desviación del valor nominal es mayor que la del lecho adsorbente 16. Habida cuenta de la diferencia en las curvas, el tiempo de represurización es más probable que varíe de un lecho a otro, lo que hace difícil ampliar los tiempos de ciclo de lecho por las razones expuestas anteriormente. Como se ha indicado anteriormente, la lógica de control de la presente invención, en un aspecto de la misma, permite que las funciones de velocidad de aumento o disminución, establecidas anteriormente, o incluso funciones constantes más simplificadas, sean afinadas de tal manera que se intenten minimizar las desviaciones en el caudal de la corriente de producto 12 desde el caudal nominal y sean conducidas hacia un valor que es el mismo para todos los lechos adsorbentes. Con relación a esto, aunque la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución se establecen en esta memoria como funciones específicas de factor de velocidad aumento, el factor de velocidad de disminución y los factores de afinación, se entiende que podrían utilizarse otras funciones para el mismo efecto, pero quizá con respuestas un poco diferentes. Por ejemplo, la presente invención es aplicable a funciones simplificadas en las que la función de velocidad de aumento se da como $DIGV = IncreaseRateFactor$ (Factor de velocidad de aumento) y una función de velocidad de disminución se establece como $DIGV = DecreaseRateFactor$ (Factor de velocidad de disminución). La desventaja de este tipo de funciones es que no incorporan una operación que sea independiente de factores externos. Sin embargo, no sólo tales funciones pueden ser afinadas, sino como se comentará, podría imponerse un objetivo de tiempo de represurización a incluso tales funciones simplificadas.

Como se ilustra, la lógica de control de la presente invención puede emplearse en relación con el ajuste del tiempo de ciclo de lecho en respuesta a desviaciones de concentración de impurezas que están más allá de un límite máximo permitido. Sin embargo, se entiende que la presente invención también tiene una aplicación para realizaciones en las que el tiempo de represurización es controlado hacia un objetivo con la finalidad de maximizar la fase de purga y por lo tanto el grado con el que se regeneran todos los lechos adsorbentes.

En otro aspecto comentado anteriormente, la lógica de control de la presente invención permite el control del tiempo de ciclo de lecho. A tal fin, una concentración máxima permisible de dióxido de carbono "CO2Max", como un valor preestablecido, se introduce en la etapa 100 de ejecución de programa y se prueba el nivel promedio computado de dióxido de carbono dentro de la corriente de producto 12. Con una breve referencia a la Fig. 1, el valor actual de la concentración de dióxido de carbono "CO2(K)", se obtiene a partir de un analizador de gases 102 y se alimenta por la línea de transmisión de datos 104 al controlador 1 y se utiliza en etapas posteriores de la lógica de programa para determinar el nivel promedio de dióxido de carbono. Aunque no se ilustra, estos datos pueden ser recuperados por un operario de modo que el operario sea capaz de inspeccionar los datos para ver las tendencias que indicarían que la concentración de dióxido de carbono tiende a "CO2Max" y los mismos se registran en la etapa 106 de ejecución de programa. Por otra parte, un operario es capaz de recuperar el valor actual de la concentración de dióxido de carbono dentro de la corriente de producto 12 en cualquier instante. Si la prueba es negativa, se envía una alarma al operario como se indica en la etapa 110 de ejecución de programa. Como pueden apreciar bien los expertos en la técnica, es posible automatizar el cálculo de los nuevos tiempos de ciclo de lecho y los valores de objetivo de tiempo de represurización y, de ese modo, automatizar la aplicación de nuevos tiempos de ciclo de lecho y los nuevos objetivos de tiempos de represurización.

En cualquier caso, tras varias ejecuciones del programa, preferiblemente en términos de múltiples ciclos de represurización durante un período de por lo menos un día, si la concentración promedio de dióxido de carbono es vista por el operario como que es menor que la concentración máxima admisible, el operario puede elegir disminuir un objetivo de tiempo de represurización "RT_Ref" y/o aumentar el tiempo de ciclo de lecho por razones que se han comentado anteriormente. Sin embargo, si la concentración promedio de dióxido de carbono es mayor o igual que la concentración máxima permisible de dióxido de carbono, entonces, el operario puede también optar por reducir el objetivo de tiempo de represurización. Sin embargo, como se ha comentado antes hay limitaciones en el alcance de reducción de tal período de tiempo y si es necesario reducir aún más la concentración promedio de dióxido de carbono, el tiempo de ciclo de lecho puede reducirse.

El objetivo de tiempo de represurización "RT_Ref" puede ser establecido por el operario en la etapa 111 de ejecución de programa. Además, en ese momento, el tiempo promedio calculado de represurización "RT_Avg" determinado en la etapa 112 de ejecución de programa, que se comentará, también se introduce en la etapa 111 de ejecución de programa. En la etapa 111, el tiempo promedio de represurización se compara luego con un objetivo de tiempo de represurización "RT_ref" restando el objetivo de tiempo de represurización del tiempo promedio de represurización y, a continuación, probando el valor absoluto de la diferencia con una cantidad "d" que representa una desviación permisible en el objetivo de tiempo de represurización. Si esta prueba es negativa, entonces no tiene que ajustarse el tiempo de represurización "RT" y la ejecución procede a la etapa 60 de ejecución de programa. Si esta prueba es positiva, el tiempo de represurización "RT" tiene que ser ajustado y, como se indica en la etapa 114 de ejecución de programa, el valor real se prueba en lugar del valor absoluto. Si la prueba es positiva, el tiempo de represurización real que se va a aplicar a un lecho adsorbente se amplía como se indica en la etapa 116 de ejecución de programa mediante la actualización de los parámetros de control. Si esta prueba es negativa, entonces se reduce tal tiempo de represurización real como se indica en la etapa 118 de ejecución de programa.

La lógica, a continuación, procede simultáneamente a la etapa 120 de ejecución del programa y la etapa 122 de ejecución de programa. En la etapa 120 de ejecución de programa se leen las presiones P16 y P18 de lecho adsorbente y, a continuación, se prueban según se muestra en la etapa 122 de ejecución de programa para determinar el lecho fuera de línea. Dependiendo del lecho fuera de línea, la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución son afinadas mediante la actualización con parámetros específicos de lecho dentro del lecho adsorbente fuera de línea como se indica en la etapa 124 de ejecución de programa para minimizar la desviación del caudal de la corriente de producto 12 desde el caudal nominal y para cerciorar que esas desviaciones son las mismas para cada uno de los lechos adsorbentes 16 y 18 durante la presión de las mismas. Por ejemplo, el objetivo de desviación puede ser aproximadamente el cinco por ciento del caudal nominal o menos. En este momento una relación de presiones de disparo se introduce en la etapa 65 de ejecución de programa, valores calculados para "alfa", el primer factor de afinación y el factor de velocidad de aumento se alimenta en la etapa 66 de ejecución de programa para el uso en la función de velocidad de aumento, un período de tiempo de disminución "IGVTIMER" se alimenta en la etapa 74 de ejecución de programa, y un factor de velocidad de disminución y un segundo y tercer factor de afinación C1 y C2 se alimentan en la etapa 76 de ejecución de programa para su uso en la función de velocidad de disminución. En términos de afinación de lecho, los parámetros específicos de lecho son la relación de presiones de disparo, valores iniciales de "alfa" y el factor de velocidad de aumento, el período de tiempo de disminución "IGVTIMER", un factor de velocidad de disminución y el segundo y tercer factor de afinación C1 y C2. Estos valores son específicos para cada uno de los lechos adsorbentes 16 y 18. Cada uno de estos valores se determina como se ha descrito anteriormente, y son afinados durante el funcionamiento de la unidad adsorbente 2 mediante la descarga y análisis de los datos relativos al caudal de la corriente de producto 12.

Cambiando al aspecto de la lógica relativa al tiempo de represurización, dado que el período de tiempo de disminución "IGVTIMER" se fija para cada uno de los lechos adsorbentes y representa un breve intervalo de tiempo en particular, los lechos adsorbentes 16 y 18 pueden ser conducidos hacia el objetivo de tiempo de represurización "RT_ref" mediante el ajuste de la función de velocidad de aumento y, particularmente, el factor de velocidad de aumento y el primer factor de afinación "alfa". Durante cada ejecución, se calcula un nuevo factor de velocidad de aumento multiplicando el actual factor de velocidad de aumento por una relación del tiempo de represurización actual promedio "RT_Avg" y el objetivo de tiempo de represurización "RT_Ref" y opcionalmente, un factor de amortiguación para controlar la agresividad de la respuesta. Además, el primer factor de afinación "alfa" se multiplica por la misma relación y opcionalmente, un factor de amortiguación seleccionado específicamente para esta variable. Si el tiempo de represurización promedio es mayor que el objetivo de tiempo de represurización, entonces el factor de velocidad de aumento y "alfa" serán computados para dar como resultado un aumento de dicha variable para a su vez dar como resultado un tiempo de represurización más rápido para conducir el tiempo de represurización hacia el objetivo de tiempo de represurización. Cuando el tiempo promedio de represurización es menor que el objetivo de tiempo de represurización, entonces el factor de velocidad de aumento y "alfa" se reducirán para aumentar el tiempo de represurización para conducir el tiempo de represurización hacia el objetivo de tiempo de represurización. Estos cálculos se realizan en las etapas 116 y 118 de ejecución de programa dependiendo del resultado de la prueba en la etapa 114. Durante cada ejecución del programa de control que implementa la lógica mostrada en la Fig. 4, tales nuevos valores para el factor de velocidad de aumento y "alfa" se utilizan en los cálculos de función de velocidad de aumento de la etapa 66 de ejecución de programa.

Después del nuevo cálculo para el factor de velocidad de aumento y el factor de velocidad de disminución, se alcanza la etapa 75 de ejecución de programa en la que el tiempo de represurización se registra junto con el nivel de dióxido de carbono como "RT(k)" y "CO2(K)". Estos dos parámetros son alimentados de nuevo en la etapa 112 de ejecución de programa para computar el tiempo promedio de represurización "RT_Avg" y en la etapa 126 de ejecución de programa para computar el nivel de dióxido de carbono promedio que se utiliza de la manera establecida.

Con referencia a la Fig. 6, la variación entre caudal de la corriente de producto 12 en las tres primeras represurizaciones que empiezan desde la izquierda de la Figura se aprecia que para cada uno de los lechos adsorbentes 16 y 18, la máxima desviación en el caudal respecto al caudal nominal de la corriente de producto 12 es la misma para cada uno de los lechos con el tiempo de represurización conducido hacia un objetivo. En cuanto a las siguientes tres represurizaciones de los lechos adsorbentes 16 y 18, se puede observar que el tiempo de represurización es conducido hacia un objetivo de valor más pequeño. Además, el tiempo de ciclo de lecho adsorbente se ha aumentado en las últimas tres represurizaciones. Como se indicó anteriormente, el operario puede que haya realizado tal acción en respuesta a que el nivel promedio de dióxido de carbono sea menor que el máximo permitido.

55

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar la represurización de lechos adsorbentes dentro de una unidad de adsorción, que comprende:
- 5 represurizar uno de los lechos adsorbentes mientras está fuera de línea con una corriente de represurización durante la regeneración de uno de los lechos adsorbentes, de tal manera que uno de los lechos adsorbentes se lleva de nuevo a una presión de funcionamiento y está listo para ser llevado de nuevo a un estado en línea;
- caracterizado porque el método comprende además;
- 10 medir el caudal de corriente de producto de una corriente de producto producida por la unidad de adsorción y controlar el caudal de la corriente de represurización, de tal manera que el caudal de la corriente de producto permanece dentro de un objetivo de intervalo;
- 15 durante la represurización del uno de los lechos adsorbentes, controlar un compresor que alimenta una corriente de alimentación comprimida a la unidad de adsorción de tal manera que un caudal de alimentación de la corriente de alimentación comprimida aumentará desde un caudal nominal hasta que una relación de presiones de lecho adsorbente del uno de los lechos adsorbentes y otro de los lechos adsorbentes en el estado en línea alcance una relación de presiones de disparo y, a continuación, regresará al caudal nominal después de que se alcance la relación de presiones de disparo en un objetivo de período de tiempo de disminución;
- el caudal de alimentación es controlado con respecto a cada uno de los lechos adsorbentes según una función de velocidad de aumento y una función de velocidad de disminución;
- 20 afinar la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución para cada uno de los lechos adsorbentes de tal manera que se minimicen las desviaciones en la respuesta del flujo de producto desde el caudal nominal durante la represurización de cada uno de los lechos adsorbentes y sean conducidas hacia un valor que es el mismo para todos los lechos adsorbentes; y
- 25 ajustar de la función de velocidad de aumento para cada uno de los lechos adsorbentes durante el funcionamiento de la unidad de adsorción de tal manera que los tiempos de represurización para cada uno de los lechos adsorbentes sea conducido hacia un objetivo de tiempo de represurización.
2. El método de la reivindicación 1, en donde la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución son funciones de la relación de presiones de lecho adsorbente y la relación de presiones de lecho de disparo de tal manera que el caudal de alimentación tiene una velocidad de aumento variable que disminuye a medida que se aproxima la relación de presiones de disparo y una velocidad de disminución variable que disminuye a medida que las presiones de lecho adsorbente se aproximan entre sí.
- 30 3. El método de la reivindicación 2, en donde:
- el compresor es controlado por un parámetro de control que influye en el caudal de alimentación;
- 35 el parámetro de control es ajustado continuamente a una frecuencia de control y según la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución para cada uno de los lechos adsorbentes de tal manera que cada ajuste en el parámetro de control tiene como resultado un nuevo valor del parámetro de control que se aplica al control del compresor y está determinado por la medición de las presiones de lecho, el cálculo de la relación de presiones de lecho, la comparación de la relación de presiones con la relación de presiones de disparo y el cálculo del nuevo valor del parámetro de control;
- 40 el nuevo valor del parámetro de control determinado añadiendo a un valor actual del parámetro de control, un aumento gradual calculado según la función de velocidad de aumento cuando la relación de presiones de lecho está por debajo de la relación de presiones de disparo para aumentar de ese modo el caudal de alimentación a la velocidad de aumento variable; y
- 45 el nuevo valor del parámetro de control determinado restando del valor actual del parámetro de control una disminución gradual calculada según la función de velocidad de disminución después de que la relación de presiones de lecho haya alcanzado la relación de presiones de disparo para devolver el caudal de la corriente de alimentación comprimida al caudal nominal.
4. El método de la reivindicación 3, en donde:
- 50 el parámetro de control es la posición de las paletas de guía de entrada de las paletas del compresor; y
- las paletas de guía de entrada se colocan en aberturas sucesivamente mayores para aumentar el caudal de alimentación y en aberturas sucesivamente menores para disminuir el caudal de alimentación.

5. El método de la reivindicación 3, en donde la unidad de adsorción funciona según un ciclo de adsorción por oscilación de presión.
6. El método de la reivindicación 3, en donde la corriente de represurización es parte de la corriente de producto.
- 5 7. El método de la reivindicación 3, en donde la represurización de uno de los lechos adsorbentes se controla únicamente a través del uso de la válvula de represurización si el parámetro de control está en un valor al inicio de la represurización que no permite un aumento del caudal de la corriente de alimentación comprimida, de tal manera que la represurización del uno de los lechos adsorbentes es conducida hacia el objetivo tiempo de represurización.
8. El método de la reivindicación 3, en donde:
- 10 la función de velocidad de aumento es igual a un producto de un factor de velocidad de aumento y una suma de 1,0 más un primer factor de ajuste por la diferencia de una mitad de la relación de presiones de disparo y la relación de presiones de lecho;
- la función de velocidad de disminución es igual a un producto de un factor de velocidad de disminución y una cantidad igual a una diferencia entre un segundo factor de afinación multiplicado por la relación de presiones de lecho y un tercer factor de afinación;
- 15 el segundo factor de afinación es igual a un valor inicial de la cantidad a la relación de presiones de disparo menos un valor final de la cantidad a la presión nominal dividido por una diferencia de la relación de presiones de disparo y 1,0;
- el tercer factor de afinación es igual al primer factor de afinación menos el valor final de la cantidad;
- 20 un promedio de ejecución del tiempo de represurización se calcula a la frecuencia de control de cada uno de los lechos adsorbentes para producir un tiempo de represurización promedio;
- se utiliza un nuevo factor de velocidad de aumento como factor de velocidad de aumento y se utiliza un nuevo primer parámetro de afinación como el primer factor de afinación si el tiempo de represurización promedio no está dentro de un intervalo predefinido de un objetivo de tiempo de represurización;
- 25 el nuevo factor de velocidad de aumento es directamente proporcional a un valor actual del factor de velocidad de aumento multiplicado por el tiempo de represurización promedio dividido en el objetivo de tiempo de represurización;
- y
- el nuevo primer parámetro de afinación es directamente proporcional a un valor actual del primer parámetro de afinación multiplicado por el tiempo de represurización promedio dividido en el objetivo de tiempo de represurización;
- y
- 30 la función de velocidad de aumento y la función de velocidad de disminución se afinan mediante la selección de cada uno de los valores de lechos adsorbentes para la relación de presiones de disparo, el factor de velocidad de disminución, el segundo factor de afinación, el tercer factor de afinación, el objetivo de período de tiempo de disminución y los valores iniciales para el factor de velocidad de aumento y el primer factor de afinación.
9. El método de la reivindicación 8, en donde:
- 35 el parámetro de control es la posición de las paletas de guía de entrada de las paletas del compresor; y
- las paletas de guía de entrada se colocan en aberturas sucesivamente mayores para aumentar el caudal de alimentación y en aberturas sucesivamente menores para disminuir el caudal de alimentación.
10. El método de la reivindicación 9, en donde la unidad de adsorción funciona según un ciclo de adsorción por oscilación de presión.
- 40 11. El método de la reivindicación 10, en donde la corriente de represurización es parte de la corriente de producto.

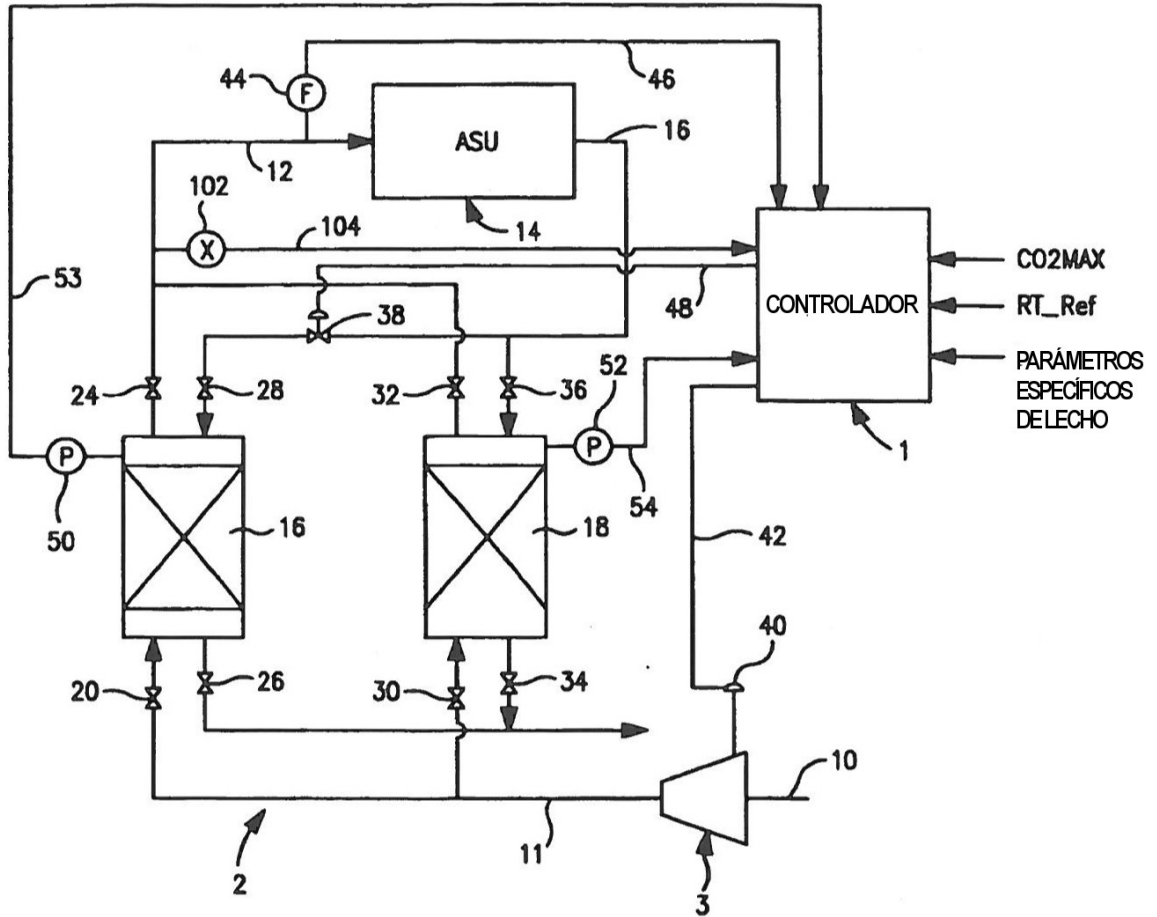


FIG. 1

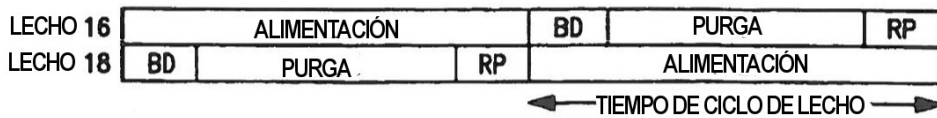


FIG. 2

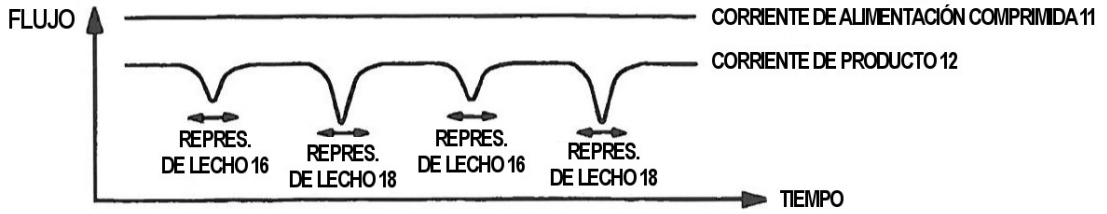


FIG. 3
(TÉCNICA ANTERIOR)

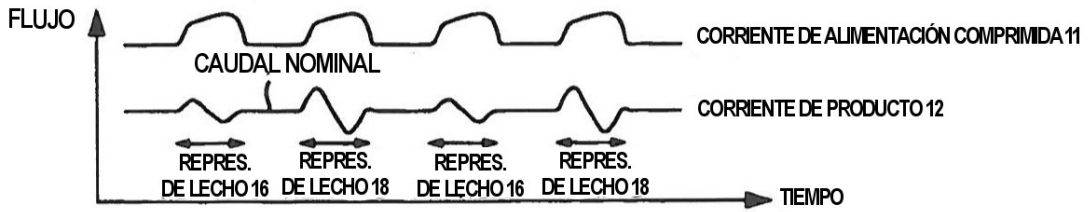


FIG. 5

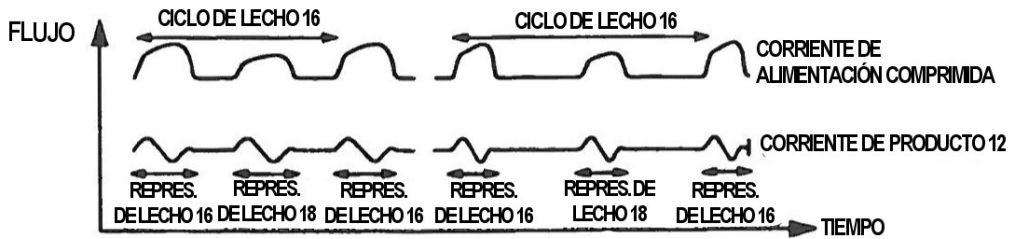


FIG. 6

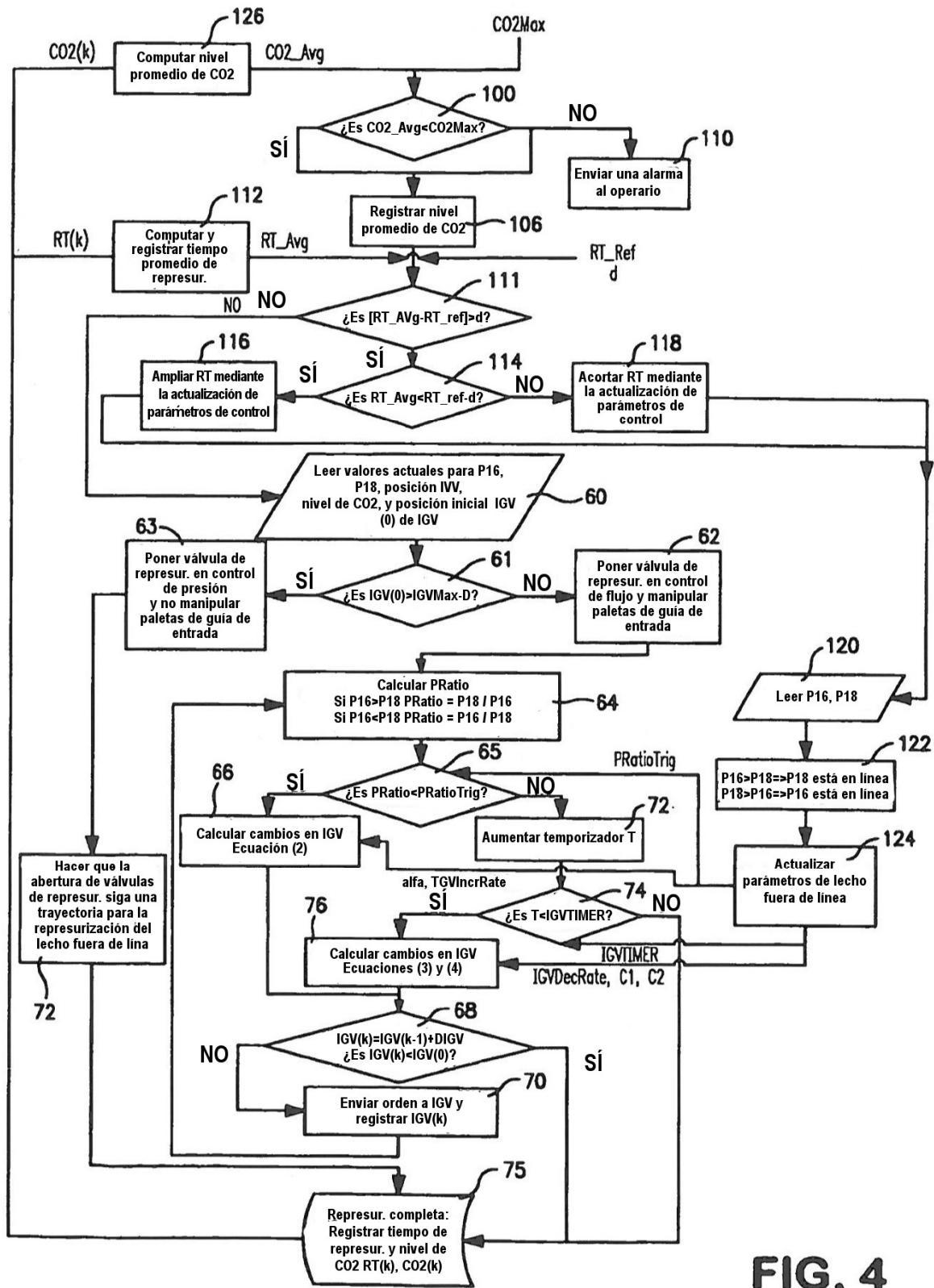


FIG. 4