

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 639**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2009** **E 09158102 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2015** **EP 2111905**

54 Título: **Mejoras en procesos de adsorción por oscilaciones cíclicas**

30 Prioridad:

**21.04.2008 US 106659**

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

**10.06.2015**

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)  
7201 HAMILTON BOULEVARD  
ALLENTOWN, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

**WRIGHT, ANDREW DAVID;  
KALBASSI, MOHAMMAD ALI;  
GOLDEN, TIMOTHY CHRISTOPHER y  
RAISWELL, CHRISTOPHER JAMES**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 537 639 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**

Mejoras en procesos de adsorción por oscilaciones cíclicas

**5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Esta invención se refiere a procesos de adsorción por oscilaciones cíclicas para la separación de una mezcla de gas de alimentación. Tal como se usa en esta especificación, el término "separación" incluye la eliminación de contaminantes y/o de impurezas de una corriente gaseosa que se puede seguir separando posteriormente. La invención tiene aplicación concreta, pero no exclusiva, en la eliminación, o al menos reducción, del nivel de dióxido de carbono en un gas de alimentación para hacerlo adecuado para su procesamiento aguas abajo. La invención es especialmente útil para eliminar dióxido de carbono del aire que se quiere emplear como gas de alimentación en un proceso de separación criogénica o purificación de aire.

15 El dióxido de carbono es un material gaseoso de temperatura de ebullición relativamente alta y es necesaria la eliminación de este y de otros materiales de alta temperatura de ebullición, por ejemplo agua, que pueden estar presentes en un gas de alimentación, cuando la mezcla debe ser tratada posteriormente en un proceso a baja temperatura, por ejemplo en un proceso criogénico. Si los materiales de temperaturas de ebullición relativamente altas no se eliminan pueden licuarse o solidificarse en el procesamiento posterior y provocar caídas de presión y dificultades de flujo en el proceso realizado aguas abajo. También puede ser necesario o deseable eliminar materiales peligrosos, por ejemplo materiales explosivos, antes de un procesamiento adicional del gas de alimentación para reducir el riesgo de que estos materiales se acumulen en el proceso posterior presentando de ese modo un peligro de explosión. Los gases de hidrocarburos, por ejemplo el acetileno, pueden presentar un peligro de este tipo.

25 Se conocen algunos procesos para separar uno o más componentes de una mezcla de gas de alimentación utilizando adsorción selectiva por un adsorbente sólido. Estos procesos incluyen: adsorción por oscilaciones de la temperatura (TSA), adsorción por oscilaciones de la presión (PSA), adsorción por oscilaciones de la presión y térmicas (TPSA) y adsorción por oscilaciones de la presión e incrementada térmicamente (TEPSA). Normalmente, el proceso se realiza de una manera cíclica en la que un lecho adsorbente está en un modo en línea, durante el cual se adsorbe adsorbato de una mezcla de gas de alimentación que atraviesa el lecho, mientras otro lecho adsorbente está en un modo de regeneración, durante el cual se desadsorbe del lecho el adsorbato adsorbido, y dichos lechos alternan entre los citados modos.

35 Por lo general, en estos procesos que tienen aire como gas de alimentación, se eliminan agua y dióxido de carbono de un gas de alimentación de aire poniendo la mezcla en contacto con uno o más adsorbentes que absorben agua y dióxido de carbono. El material adsorbente del agua es típicamente gel de sílice, alúmina o un tamiz molecular y el material adsorbente del dióxido de carbono es típicamente un tamiz molecular, por ejemplo, una zeolita. Es convencional eliminar el agua en primer lugar y a continuación el dióxido de carbono haciendo pasar el aire de alimentación a través de una única capa adsorbente o de diferentes capas de adsorbente seleccionado para la adsorción preferencial de agua y dióxido de carbono en una columna. La eliminación hasta un nivel muy bajo del dióxido de carbono y de otros componentes de temperatura de ebullición elevada es especialmente deseable para que los procesos realizados aguas abajo funcionen de manera eficiente.

45 Después de la adsorción, se corta el flujo de gas de alimentación del lecho adsorbente y se expone el adsorbente a un flujo de gas de regeneración que extrae del adsorbente los materiales adsorbidos, por ejemplo el dióxido de carbono y el agua, y que de este modo lo regenera para que pueda ser usado de nuevo.

50 Típicamente, en un proceso de TSA para la eliminación de dióxido de carbono y de agua se comprime aire atmosférico utilizando un compresor principal de aire (MAC), continuando con refrigeración por agua y eliminación, en un separador, del agua condensada de ese modo. El aire se puede enfriar más usando, por ejemplo, etilenglicol refrigerado. La mayor parte del agua se elimina en esta etapa por condensación y separación del condensado. A continuación se hace pasar el gas a un sistema de lecho adsorbente donde se eliminan por adsorción el resto del agua y del dióxido de carbono.

55 Usando dos lechos adsorbentes en una disposición en paralelo se puede hacer que uno opere en adsorción mientras que el otro se está regenerando, y sus papeles se pueden invertir periódicamente dentro del ciclo de funcionamiento. Convencionalmente se dedican periodos de tiempo iguales a la adsorción y la regeneración.

60 A medida que es adsorbido el componente que se está eliminando del gas de alimentación mientras el lecho está en línea, el proceso de adsorción generará calor de adsorción, provocando que un pulso de calor avance aguas abajo a través del adsorbente. Durante el periodo de alimentación, o periodo en línea, se permite que el pulso de calor avance hasta salir por el extremo del lecho adsorbente situado aguas abajo. Durante el proceso de regeneración se debe suministrar calor para desadsorber el componente gaseoso que se ha adsorbido en el lecho. En la etapa de

regeneración, para desadsorber los componentes adsorbidos se usa parte del gas producto, por ejemplo nitrógeno o una corriente residual de un proceso situado aguas abajo, y este gas además de calentarse puede comprimirse. El gas caliente se hace pasar a través del lecho que se está regenerando eliminando de este modo el adsorbato. Convencionalmente, la regeneración se realiza en una dirección contraria a la de la etapa de adsorción.

- 5
- En un sistema de PSA los tiempos de ciclo suelen ser más cortos que en un sistema de TSA, pero la temperatura y la presión de alimentación y el gas de regeneración a menudo son similares. Sin embargo, en los sistemas de PSA, la presión del gas de regeneración es menor que la del gas de alimentación y se utiliza el cambio de presión para eliminar del adsorbente el dióxido de carbono y el agua. La regeneración se inicia adecuadamente antes de que el pulso de calor mencionado anteriormente en relación con la TSA haya llegado al extremo del lecho situado aguas abajo. El proceso de regeneración invierte la dirección del pulso de calor y el calor que se deriva de la adsorción del componente gaseoso en cuestión se retiene en el lecho y se utiliza para desadsorber ese componente durante la regeneración. A diferencia de la TSA, es innecesario calentar el gas de regeneración.
- 10
- 15 La adsorción por oscilaciones de la presión y térmicas (TPSA) también es apropiada para eliminar dióxido de carbono y agua de aire de alimentación. En un sistema de TPSA, el agua típicamente se confina en una zona en la cual está situado un medio de adsorción de agua, por ejemplo alúmina activada o gel de sílice. Típicamente se utiliza una capa diferente que comprende, por ejemplo, un tamiz molecular para la adsorción de dióxido de carbono y convencionalmente la capa de tamiz molecular y la zona para adsorción de agua están separadas. A diferencia de un sistema de TSA, en la capa de tamiz molecular no entra agua en cantidad significativa, lo cual evita, ventajosamente, que sea necesario aportar una gran cantidad de energía para desadsorber el agua de la capa de tamiz molecular. Procesos de TPSA se describen, por ejemplo, en las Patentes de EE.UU. N° 5.885.650 y N° 5.846.295.
- 20
- 25 La PSA incrementada térmicamente (TEPSA), al igual que la TPSA, utiliza un proceso de regeneración de dos etapas en el cual el dióxido de carbono previamente adsorbido se desadsorbe mediante TSA y el agua adsorbida se desadsorbe mediante PSA. En este proceso, la desadsorción se produce suministrando un gas de regeneración a una presión menor que la de la corriente de alimentación y a una temperatura mayor que la de la corriente de alimentación y sustituyendo posteriormente el gas de regeneración caliente por un gas de regeneración frío. El gas de regeneración caliente permite extender el tiempo de ciclo en comparación con el de un sistema de PSA, reduciendo de ese modo las pérdidas por oscilación porque el calor generado por adsorción dentro del lecho puede ser reemplazado en parte por el calor procedente del gas de regeneración caliente. Un proceso de TEPSA se describe, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. N° 5.614.000.
- 30
- 35 A diferencia del proceso de PSA, los procesos de TSA, de TEPSA y de TPSA requieren todos ellos el aporte de energía térmica mediante el calentamiento del gas de regeneración, pero cada procedimiento tiene sus propias ventajas y desventajas características. Típicamente, las temperaturas necesarias para el gas de regeneración son lo suficientemente altas, por ejemplo, de 50° C a 200° C, para imponer demandas sobre la ingeniería del sistema, lo cual incrementa los costes. Típicamente, habrá más de un adsorbato que se elimine en el proceso y por lo general uno o más de estos componentes se adsorberá enérgicamente, por ejemplo el agua, y otro se adsorberá mucho más débilmente, por ejemplo el dióxido de carbono. La elevada temperatura utilizada para la regeneración tiene que ser suficiente para la desadsorción del componente adsorbido más enérgicamente. La elevada temperatura utilizada en los sistemas de TSA, de TPSA y de TEPSA puede requerir el uso de vasijas aisladas, de un precalentador del gas de regeneración y de un pre-enfriador final de admisión y, por lo general, las elevadas temperaturas obligan a adoptar para el sistema una especificación mecánica más exigente y más cara. Durante el funcionamiento existe un coste energético extra relacionado con el uso del precalentador de purga. El sistema de PSA evita muchas de estas desventajas al evitar que sea necesario afrontar altas temperaturas, aunque el corto tiempo de ciclo que caracteriza al proceso de PSA acarrea sus propias desventajas.
- 40
- 45
- 50 El diseño de un sistema de adsorción por oscilaciones tiene en cuenta variaciones potenciales en la composición de la mezcla de gas de alimentación que se quiere separar y se basa convencionalmente en las peores condiciones de alimentación posibles para adaptarse a todas las potenciales variaciones. Normalmente, las condiciones de proceso para el sistema se seleccionan previamente y permanecen constantes durante el funcionamiento para garantizar que se pueda procesar el gas de alimentación que tenga el mayor contenido probable de adsorbato sin riesgo de exceder la capacidad del sistema para eliminar el adsorbato, y evitando de esta manera que se hagan pasar niveles inaceptables de adsorbato a un proceso situado aguas abajo. En el caso de eliminación de dióxido de carbono y agua del aire, se tienen en cuenta las condiciones ambientales predominantes en la zona en la que se debe realizar el proceso, ya que el nivel de dióxido de carbono cambia en función de los niveles de contaminación y el agua en el gas de alimentación cambia en función de variaciones de temperatura y humedad relativa locales. En el caso concreto de contaminación por dióxido de carbono, el contenido de dióxido de carbono del aire de alimentación puede cambiar con rapidez y substancialmente en respuesta a un cambio en la dirección del viento si hay una chimenea de salida de gases de quemado emitiendo dióxido de carbono en las proximidades o en respuesta a un cambio en las condiciones climáticas locales. Por ejemplo, la Figura 1 es un gráfico que muestra la variación de la
- 55
- 60

concentración de dióxido de carbono en el ambiente en una unidad de separación de aire de la empresa Air Products en Wigan, Reino Unido, durante el periodo que va del 20 al 23 de Noviembre de 2005. Del 20 al 22 de Noviembre de 2005 hubo tiempo nublado, durante el cual la concentración de dióxido de carbono estuvo por encima del nivel normal de aproximadamente 450 ppm y alcanzó un pico de aproximadamente 680 ppm. De manera similar, la Figura 2 es un gráfico que muestra la variación de la concentración de dióxido de carbono en el ambiente en una unidad de separación de aire de la empresa Air Products en Isle of Grain, Reino Unido, durante el periodo que va del 4 al 8 de Septiembre de 2006. Cerca de la unidad había una chimenea de salida de gases de quemado de GNL (gas natural licuado) y el efecto del dióxido de carbono emitido por esa chimenea sobre la unidad de separación de aire depende de la dirección del viento. Como se puede ver, la concentración de dióxido de carbono tuvo un pico superior a las 10000 ppm.

En la técnica anterior ha habido propuestas para modificar el tiempo de ciclo de un proceso de adsorción por oscilaciones cíclicas para adaptarse a cambios en la composición del gas de alimentación. Por ejemplo, la Patente de EE.UU. Nº 3.808.773 describe la purificación por adsorción de un gas que contiene agua y uno o más componentes secundarios haciendo pasar el gas a través de un lecho de tamiz molecular para eliminar componentes adsorbibles, interrumpiendo el flujo de gas antes de la saturación en vapor de agua adsorbato del mismo, preferiblemente tras la saturación del componente secundario que tiene menor facilidad para ser adsorbido, y regenerando a continuación el tamiz molecular a una temperatura relativamente baja de 100 – 200 °C haciendo pasar un gas de purga caliente a través del tamiz molecular en la dirección contraria al flujo de gas. Se describe un sistema de doble lecho en el cual en un lecho se realiza adsorción mientras que el otro se somete a regeneración durante un periodo de tiempo determinado.

La Patente de EE.UU. Nº 4.197.095 describe la adsorción de componente(s) de un gas de alimentación utilizando un proceso de adsorción de doble lecho en el cual se captan mediante sensores condiciones de funcionamiento incluidos el caudal, las temperaturas de entrada y salida, las presiones de entrada y salida y las presiones de regeneración; se calcula la cantidad de flujo de purga necesario para regenerar el lecho; se calcula el caudal de purga en las condiciones de funcionamiento; y se controla el tiempo de regeneración de tal manera que se detiene el flujo de purga cuando el lecho se ha regenerado. Se controla el tiempo de ciclo para que no sea menor que el tiempo de regeneración y los lechos se intercambian al final de ese tiempo.

La Patente de EE.UU. Nº 4.472.178 describe la adsorción de dióxido de carbono de una corriente gaseosa de alimentación de gas empobrecido en agua mediante una secuencia de TSA, en la cual el producto gaseoso empobrecido en dióxido de carbono de un lecho de adsorción se hace pasar inicialmente a través de un recuperador para retener calor, pero en la que, después de que el gas alcance una temperatura inferior predeterminada, se pone en derivación el recuperador. Cuando el producto gaseoso alcanza una concentración de dióxido de carbono predeterminada se interrumpe el flujo de gas de alimentación, se reduce la presión del lecho y se purga dicho lecho inicialmente a contracorriente con un gas de purga, que se ha calentado mediante calor suministrado desde el exterior y calor recuperado en el recuperador, hasta que existe una zona térmica en el lecho. El purgado continúa sin suministro de calor desde el exterior hasta que la zona térmica está aproximadamente en el extremo de alimentación del lecho y entonces se interrumpe, se represuriza el lecho a contracorriente con gas empobrecido en agua y en dióxido de carbono hasta que dicho lecho alcanza una presión preestablecida tal que se puede iniciar de nuevo el ciclo de adsorción. Se describe un sistema de doble lecho en el cual en un lecho se realiza adsorción mientras que el otro se somete a regeneración durante un periodo de tiempo determinado.

La Patente de EE.UU. Nº 4.693.730 describe un proceso de adsorción por oscilaciones de la presión en el cual, para controlar la pureza del producto, se capta mediante sensores una característica del efluente de la despresurización concurrente y se adoptan acciones correctivas en respuesta a dicha característica. La acción puede ser un ajuste de la cantidad de gas de purga recibida por un lecho adsorbente para controlar el grado de regeneración. En la realización de ejemplo, la característica captada es la concentración de impurezas y se ajustan los valores objetivo para los tiempos de ciclo y para el nivel de impurezas, y la característica del efluente de la despresurización de un lecho produce una acción correctiva que afecta a todos los lechos.

La Patente de EE.UU. Nº 5.989.313 describe la prepurificación por PSA de aire en la cual el tiempo de ciclo para cada uno de los al menos dos adsorbentes se controla mediante un método "en tiempo real" en el que, basándose en valores de flujo medido a lo largo de un periodo de tiempo predeterminado, se acumula el flujo totalizado real suministrado a un adsorbente en línea, y se monitorizan las condiciones de la alimentación de aire, por ejemplo, la temperatura, la presión y la humedad relativa. Periódicamente, basándose en las condiciones monitorizadas de la alimentación de aire, se calcula un flujo totalizado máximo suministrado al adsorbente, se compara el valor de flujo totalizado real con el valor de flujo totalizado máximo calculado en ese momento y, cuando se alcanza una relación predeterminada entre ambos valores, se desacopla de la alimentación de aire el adsorbente en línea y se acopla a ella otro adsorbente. El control de los tiempos de ciclo para cada adsorbente también tiene en cuenta: variaciones en la demanda de carga, proporción de alimentación de purga frente a alimentación de aire y alteraciones que se producen al cambiar de lechos adsorbentes. Basándose en el flujo de aire y en la recuperación de la columna se

puede controlar la proporción de alimentación de purga frente a alimentación de aire y también, si la temperatura del lecho es elevada, por ejemplo en verano, se puede reducir el flujo de purga.

La Patente de EE.UU. Nº 6.277.174 describe un proceso de PSA en el cual, durante la adsorción, se monitoriza la presión máxima de alimentación a cada uno de los al menos dos lechos y en el que, durante la desadsorción, se monitoriza la presión mínima de salida de cada lecho y, dentro de un ciclo, en función de las presiones monitorizadas, se modifican los tiempos de las etapas individuales para controlar los flujos de entrada a los lechos y entre dichos lechos para mantener una relación de presiones casi constante. Los tiempos de las etapas de purgado y de solape de ecualización se pueden ajustar en función de las presiones monitorizadas.

La Patente de EE.UU. Nº 6.402.809 describe la purificación de un gas, como por ejemplo aire, que contiene dióxido de carbono y/o agua mediante un proceso de TSA en el cual se controla, se modifica y/o se regula al menos un parámetro de energía, elegido de entre el caudal del gas de regeneración que entra en un adsorbente y/o el caudal que sale del mismo, la duración de la etapa de regeneración y la temperatura de regeneración del gas de regeneración que entra en el adsorbente, en función de al menos una condición de funcionamiento elegida de entre la presión del gas a purificar que entra al adsorbente y/o que sale de él, el caudal del gas a purificar que entra al adsorbente y/o que sale de él, la temperatura del gas a purificar que entra en el adsorbente y la cantidad de impurezas contenidas en el gas a purificar que entra en el adsorbente y en función del perfil de temperaturas del frente de calor proporcionado por el adsorbente a su salida al final de la regeneración. Preferiblemente, la adsorción se realiza en un lecho mientras que otro lecho se somete a regeneración.

La Patente de EE.UU. Nº 6.599.347 describe la adsorción de agua y de dióxido de carbono de un gas de alimentación usando un proceso de adsorción por oscilaciones de la temperatura, en el cual se determinan, de forma directa o indirecta, uno o más parámetros relacionados con el contenido de agua del gas de alimentación, y en el cual se regenera el adsorbente utilizando condiciones basadas en dicho(s) parámetro(s). El parámetro o los parámetros del gas de alimentación se pueden medir de manera continua o periódica, por ejemplo cada hora o cada día, y el flujo y/o la temperatura del gas de purga se pueden modificar en respuesta a los datos medidos.

Ninguno de estos procesos de la técnica anterior permite un control automático de la adsorción por oscilaciones mediante el cual se pueda modificar el tiempo para la finalización de la regeneración de un lecho adsorbente para que coincida con el tiempo para la finalización de la adsorción concurrente por el lecho en línea, de manera que éste último pueda ser reemplazado en la línea por el lecho regenerado. Es un objeto de la presente invención proporcionar un control de este tipo, de manera que, para la concentración normal de adsorbato en el gas de alimentación, el sistema se pueda operar en condiciones óptimas, pero donde el lecho regenerado esté disponible para ser usado más rápido de lo normal, para adaptarse a un menor tiempo en línea resultante de una mayor concentración de adsorbato por encima del nivel normal. En comparación con el diseño de sistemas convencionales que proporcionan funcionamiento para adaptarse a las máximas concentraciones de adsorbato esperadas, esto permitiría tiempos en línea más largos para el funcionamiento normal, permitiendo al mismo tiempo una reducción del tiempo en línea para adaptarse a concentraciones de adsorbato mayores de lo normal, o a cambios inesperados repentinos en la concentración de adsorbato sin que exista limitación por el tiempo necesario para completar la regeneración del lecho de sustitución.

#### BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

La presente invención proporciona un proceso de adsorción por oscilaciones cíclicas en el cual un lecho adsorbente está en un modo en línea, durante el cual se adsorbe adsorbato de una mezcla de gas de alimentación que atraviesa el lecho, mientras otro lecho adsorbente está en un modo de regeneración, durante el cual se desadsorbe del lecho el adsorbato adsorbido, y dichos lechos alternan entre los citados modos, donde el tiempo necesario para completar el modo en línea está determinado por la cantidad total de adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, la concentración del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación se monitoriza durante dicho modo en línea, y el tiempo necesario para completar el modo en línea se predice a partir de dicha concentración monitorizada, y al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración se modifica en respuesta a cambios en el citado tiempo previsto por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.

La invención también proporciona un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas para realizar dicho proceso, comprendiendo dicho aparato:

al menos dos lechos adsorbentes;  
un circuito de control para mantener un lecho en un modo en línea durante un tiempo determinado por la cantidad total de adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, pudiendo, durante dicho modo en línea, adsorberse adsorbato de una mezcla de gas de alimentación que atraviesa el lecho, y para mantener otro lecho en un modo de regeneración, durante el cual se puede desadsorber del lecho el adsorbato adsorbido, y alternando dichos lechos entre los citados modos; y

un sensor de adsorbente total para medir la cantidad total del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante el modo en línea, determinando de ese modo la duración del modo en línea; un dispositivo de monitorización de concentración para monitorizar la concentración del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación durante dicho modo en línea; y

5 un procesador para predecir, a partir de la citada concentración monitorizada, el tiempo necesario para completar el modo en línea, modificando el citado circuito de control al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración en respuesta a cambios en dicho tiempo previsto, por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.

#### 10 BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un gráfico que muestra la variación de la concentración de dióxido de carbono en el ambiente en una unidad de separación de aire de la empresa Air Products en la ciudad de Wigan, Reino Unido, durante el periodo entre el 20 y el 23 de Noviembre de 2005.

15 La Figura 2 es un gráfico que muestra la variación de la concentración de dióxido de carbono en el ambiente en una unidad de separación de aire de la empresa Air Products en Isle of Grain, Reino Unido, durante el periodo entre el 4 y el 8 de Septiembre de 2006.

La Figura 3 es una representación esquemática de una unidad inicial de pre-purificación para una unidad de separación de aire criogénica que utiliza TSA operada de acuerdo con la presente invención para eliminar dióxido de carbono y agua de la alimentación de aire a la unidad.

#### 20 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención proporciona control de un sistema de adsorción por oscilaciones de tal manera que el sistema se puede operar en condiciones óptimas para la concentración normal de adsorbato en el gas de alimentación, pero donde el lecho regenerado está disponible para ser usado más rápido de lo normal, para adaptarse a un menor tiempo en línea resultante de una mayor concentración de adsorbato por encima del nivel normal. Esto se consigue mediante una determinación continua o continuada de la concentración de adsorbato en el gas de alimentación, calculando a partir de los datos resultantes una estimación del tiempo en línea que se conseguirá, y modificando de manera automática el flujo de purga u otro parámetro de funcionamiento para el lecho que se está regenerando de forma que alcance el nivel de regeneración deseado cuando el lecho en línea esté saturado. De esta forma se puede reducir el caudal de purga utilizado para el funcionamiento normal para que coincida con el tiempo en línea normal, reduciendo de ese modo, en comparación con un sistema de diseño convencional, la cantidad necesaria de gas de purga y también la caída de presión a través del lecho en regeneración. Esto permite que en todo momento se utilice la cantidad mínima de gas de purga.

35 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso de adsorción por oscilaciones cíclicas en el que un lecho adsorbente está en un modo en línea, durante el cual se adsorbe adsorbato de una mezcla de gas de alimentación que atraviesa el lecho, mientras que otro lecho adsorbente está en un modo de regeneración, durante el cual se desadsorbe del lecho el adsorbato adsorbido, y dichos lechos alternan entre los citados modos, donde el tiempo necesario para completar el modo en línea está determinado por la cantidad total de adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, la concentración del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación se monitoriza durante dicho modo en línea y el tiempo necesario para completar el modo en línea se predice a partir de dicha concentración monitorizada, y al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración se modifica en respuesta a cambios en dicho tiempo previsto, por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.

40 Los modos de adsorción y de regeneración se pueden operar de cualquier manera convencional, excepto por la manera en la que se hace que los tiempos en línea y de regeneración coincidan.

50 En una realización preferente, existe un tiempo mínimo para la finalización del modo en línea basado en una concentración de referencia del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación, y el tiempo previsto para la finalización cambia sólo cuando la concentración monitorizada supera a dicha concentración de referencia en tal grado que el tiempo previsto supera al citado tiempo mínimo. Normalmente, la concentración de referencia será la mayor concentración que se espera habitualmente en el gas de alimentación en condiciones normales de funcionamiento. Por ejemplo, en el caso de adsorción de dióxido de carbono del aire de alimentación en el Reino Unido, apropiadamente la concentración de referencia es de aproximadamente 400 ppm.

60 La concentración del adsorbato se puede monitorizar por medición en la mezcla de gas de alimentación aguas arriba del lecho adsorbente en línea y/o dentro del lecho adsorbente en línea. Se observará que hay más tiempo disponible para hacer ajustes en las condiciones de regeneración cuando la medición se realiza aguas arriba del lecho adsorbente, pero que la estimación del tiempo en línea será menos precisa que si la medición se realiza dentro del lecho. Cuanto más cerca de la salida del lecho se haga la medición, mayor será la posibilidad de realizar una estimación más precisa del tiempo en línea, pero la capacidad de hacer esta estimación sólo puede empezar después de que el frente de adsorbato se haya movido a través del lecho hasta la posición de medición. Como

resultado de esto, existe un retardo temporal antes de que se puedan ajustar las condiciones de regeneración, lo que significa que las condiciones de regeneración pueden ser peores que las óptimas. Se pueden hacer mediciones en más de una posición.

5 De forma apropiada, se mide la concentración de adsorbato en la salida para verificar que el tiempo en línea estimado es correcto y que no están saliendo adsorbatos del lecho adsorbente. Esta medición se puede utilizar como realimentación para el software de estimación del tiempo en línea y para hacer correcciones a sus predicciones.

10 La al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración modificada en respuesta al cambio en la concentración de adsorbato puede ser el caudal de gas de purga y/o la temperatura de ese gas y/o el tiempo de calentamiento de regeneración para la TSA o el acortamiento del tiempo de ciclo de la PSA para ganar capacidad.

15 Aunque más adelante se describirá la invención como aplicada a un sistema de TSA con dos lechos, dicha invención es útil también con otros ciclos de adsorción, (especialmente sistemas de PSA, sistemas de TEPESA & PSA) y para cualesquiera presiones, temperaturas, adsorbentes y adsorbatos. Se puede aplicar a lechos múltiples con alimentaciones, productos y flujos de regeneración múltiples. Los lechos de adsorción pueden contener múltiples capas adsorbentes y se puede controlar el tiempo en línea para que cada componente adsorbato del gas de alimentación se pueda retener dentro de su propia sección predefinida. En particular, en una realización de la  
 20 invención, en la mezcla de gas de alimentación existen dos o más adsorbatos, el tiempo necesario para completar el modo en línea está determinado por la cantidad total de dos o más de los adsorbatos en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, las concentraciones de dichos adsorbatos en la mezcla de gas de alimentación que determinan el citado tiempo en línea se monitorizan durante dicho modo en línea, y el tiempo necesario para completar el modo en línea se predice a partir de dichas concentraciones monitorizadas, y al  
 25 menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración se modifica en respuesta a cambios en dicho tiempo previsto, por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.

30 La invención tiene aplicación concreta en la eliminación de dióxido de carbono del aire o de otro gas que contenga dióxido de carbono, como por ejemplo gas natural o gas sintético (syngas), especialmente en una unidad inicial de prepurificación para una unidad criogénica de separación de aire que proporciona al menos una corriente producto de oxígeno y/o de nitrógeno.

35 Cuando se utiliza la invención para eliminar el dióxido de carbono del aire, el aire se trata adecuadamente poniéndolo en contacto con un adsorbente en una primera zona para eliminar agua, antes de la eliminación de dióxido de carbono en una segunda zona apropiadamente en un segundo adsorbente. Los adsorbentes apropiados incluyen alúmina, gel de sílice, alúmina activada, alúmina impregnada y tamices moleculares, por ejemplo zeolitas de tipo A y de tipo X. El material adsorbente del agua es preferiblemente gel de sílice, alúmina activada, alúmina impregnada o alúmina y el material adsorbente del dióxido de carbono es preferiblemente un tamiz molecular, por  
 40 ejemplo una zeolita. La zeolita puede ser ligada o sin ligante y preferiblemente es zeolita 13X, más preferiblemente zeolita 13X sin ligante.

45 Preferiblemente, el adsorbente de agua y el adsorbente de dióxido de carbono están colocados dentro de un lecho compuesto, con el adsorbente de dióxido de carbono situado aguas abajo del adsorbente de agua, aunque si se desea se pueden emplear lechos separados.

50 En un proceso de TSA, el gas de alimentación se suministra adecuadamente a la etapa de adsorción a una temperatura de -50° C a 80° C y preferiblemente de 0 a 60° C, especialmente de 10 a 50° C. De forma apropiada la presión del gas de alimentación es de al menos 0,1 MPa, preferiblemente de 0,2 a 4 MPa, más preferiblemente de 0,2 a 3 MPa y deseablemente de 0,2 a 1,5 MPa. Preferiblemente, el gas de regeneración comprende un gas reciclado de un proceso situado aguas abajo, por ejemplo una corriente de gas residual rico en nitrógeno procedente de una unidad de separación de aire que está seco y libre de dióxido de carbono. La regeneración del adsorbente se realiza a una temperatura superior a la temperatura de adsorción del lecho, adecuadamente a una temperatura de  
 55 50 a 400° C, preferiblemente de 65 a 240 ° C. De forma apropiada, la presión de regeneración es de 0,01 a 3 MPa y preferiblemente de 0,03 a 1 MPa. Es especialmente deseable que la presión de regeneración no supere el 50 por ciento de la presión del gas de alimentación.

60 Cuando se elimina dióxido de carbono y agua de aire de alimentación en un tratamiento de adsorción por oscilaciones, por lo demás convencional, de aire de alimentación a una unidad de separación de aire, los parámetros preferidos del proceso son los indicados en la Tabla 1:

TABLA 1

	Rango Preferido	Rango más preferido
Presión de Alimentación (MPa)	0,3 a 4	0,5 a 1,5
Temperatura de Alimentación del Aire (°C)	5 a 60	10 a 30
Alimentación de CO <sub>2</sub> (ppm)	100 a 10000	300 a 1000
Presión de Purga (MPa)	0,03 a 3	0,01 a 1
Temperatura Fría de Purga (°C)	5 a 80	10 a 40
Temperatura Caliente de Purga (°C) (no aplicable para funcionamiento en PSA)	50 a 300	65 a 240

5 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso de separación de aire en el cual se comprime aire en un compresor principal de aire para proporcionar aire comprimido; se elimina dióxido de carbono del aire comprimido mediante un proceso de adsorción por oscilaciones cíclicas en el que un lecho adsorbente está en un modo en línea, durante el cual se adsorbe dióxido de carbono del aire comprimido para proporcionar una alimentación de aire libre de dióxido de carbono, al tiempo que otro lecho adsorbente está en un modo de regeneración, durante el cual se desadsorbe del lecho el dióxido de carbono, y dichos lechos alternan entre los citados modos; y el aire libre de dióxido de carbono se suministra a una unidad de separación de aire para proporcionar al menos una corriente producto enriquecida en un componente de la alimentación de aire libre de dióxido de carbono, donde el tiempo necesario para completar el modo en línea está determinado por la cantidad total de dióxido de carbono en el aire comprimido, la concentración de dióxido de carbono en el aire comprimido se monitoriza durante dicho modo en línea, y el tiempo necesario para completar el modo en línea se predice a partir de dicha concentración monitorizada, y al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración se modifica en respuesta a cambios en dicho tiempo previsto, por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.

20 En tanto que sean relevantes para la separación de aire, todas las alternativas y preferencias analizadas anteriormente en conexión con el primer aspecto aplican al segundo aspecto.

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas para realizar un proceso del primer aspecto, comprendiendo dicho aparato:

25 al menos dos lechos adsorbentes;  
un circuito de control para mantener un lecho en un modo en línea durante un tiempo determinado por la cantidad total de adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, pudiendo, durante dicho modo en línea, adsorberse adsorbato de una mezcla de gas de alimentación que atraviesa el lecho, y para mantener otro lecho en un modo de regeneración, durante el cual se puede desadsorber del lecho el adsorbato adsorbido, y alternando dichos lechos entre los citados modos; y  
30 un sensor de adsorbente total para medir la cantidad total del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante el modo en línea, determinando de ese modo la duración del modo en línea;  
un dispositivo de monitorización de concentración para monitorizar la concentración del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación durante dicho modo en línea; y  
35 un procesador para predecir, a partir de la citada concentración monitorizada, el tiempo necesario para completar el modo en línea, modificando el citado circuito de control al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración en respuesta a cambios en dicho tiempo previsto por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.

40 De forma apropiada, el sensor de adsorbente total es común con el citado dispositivo de monitorización de concentración.

45 En tanto que sean relevantes para la estructura del aparato, todas las alternativas y preferencias analizadas anteriormente en conexión con el primer aspecto aplican al tercer aspecto. Por ejemplo, el monitor de concentración puede medir la concentración del adsorbente en la mezcla de gas de alimentación aguas arriba del lecho adsorbente en línea y/o dentro del propio lecho adsorbente en línea; el circuito de control puede controlar el caudal y/o la temperatura del gas de purga; y el aparato preferiblemente es un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas de la temperatura.

50 De acuerdo con un cuarto aspecto, la invención proporciona un sistema de separación de aire para realizar un proceso de acuerdo con el segundo aspecto que comprende:

un compresor principal de aire para proporcionar aire comprimido;  
un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas de acuerdo con el tercer aspecto para proporcionar una alimentación de aire libre de dióxido de carbono, y

una unidad de separación de aire para separar dicha alimentación de aire libre de dióxido de carbono, para proporcionar al menos una corriente producto enriquecida en un componente de la misma.

5 Haciendo referencia a la Figura 3, el aire a purificar se suministra a un compresor principal de aire (MAC) 1, en el cual se comprime y se envía a continuación a un enfriador 2 para condensar al menos parte del vapor de agua del aire comprimido enfriado. El aire comprimido enfriado se envía a un separador 3, que sirve para eliminar gotas de agua de la alimentación. El separador está conectado a un tubo 4 de admisión, en el cual la vía de flujo se divide en dos vías 5, 6 que tienen válvulas de control de entrada, 7 y 8 respectivamente. Aguas abajo de las válvulas 7 y 8 de control, las vías 5, 6 de entrada están conectadas en derivación por un tubo 9 de ventilación, que contiene válvulas 10, 11 de desfogue. Al tubo 9 de ventilación está conectado un silenciador 12. A las vías 5, 6 de entrada, aguas abajo del tubo 9 de ventilación, están conectadas respectivamente unas vasijas 13, 14 de adsorción. Cada vasija 13, 14 contiene un lecho adsorbente que contiene dos adsorbentes 15, 16, y 15', 16', respectivamente. Las partes 15, 15' de los lechos adsorbentes situadas aguas arriba contienen un adsorbente para eliminar agua, por ejemplo alúmina activada o alúmina modificada, y las partes 16, 16' de los lechos de adsorción situadas aguas abajo contienen un adsorbente para la eliminación de dióxido de carbono, por ejemplo zeolita. A cada vasija 13, 14 de adsorción están conectadas vías 17, 18 de salida, y dichas vías tienen válvulas 19, 20 de control. Las diferentes vías 17, 18 de salida se unen aguas abajo de las válvulas 19, 20 de control para proporcionar una única salida 21 que está conectada adecuadamente al aparato de procesamiento situado aguas abajo, por ejemplo un separador criogénico de aire (no mostrado). Aguas arriba de las válvulas 19, 20 de control de salida, las vías 17, 18 de salida están conectadas en derivación por un tubo 22 de entrada de gas de purga, conteniendo el tubo de derivación válvulas 23, 24 de control del gas de purga. Una tubería 25 de derivación adicional, situada aguas arriba del tubo 22 de entrada de gas de purga, también contiene una válvula 26 de control.

25 El tubo 22 de entrada de gas de purga está conectado a un tubo 27 de alimentación de gas de purga a través de un calentador 28 o a través de una tubería 29 de derivación. Para controlar el flujo y la vía del gas de purga se proporcionan válvulas 30, 31 de control. De forma apropiada, el gas de purga se obtiene del aparato de procesamiento situado aguas abajo alimentado por la salida 21.

30 En el tubo 27 de alimentación de gas de purga se proporciona un dispositivo 32 de control de flujo, para medir y controlar el flujo del gas de purga hacia el tubo 22 de entrada. El dispositivo 32 de control de flujo recibe una señal de control enviada por un procesador 33, el cual proporciona también una señal de control a un secuenciador 34 térmico para controlar el calentamiento del gas de purga. Un sensor 35 de dióxido de carbono situado aguas abajo del separador 3 proporciona una señal de entrada al procesador 33 proporcional a la concentración de dióxido de carbono en la alimentación de aire limpio que va a los lechos adsorbentes.

35 Durante la utilización, el aire se comprime en el MAC 1, y se envía a continuación al tubo 4 de admisión a través del enfriador 2 y del separador 3 y atraviesa una de los dos vasijas 13, 14 adsorbentes (la vasija "en línea") en la dirección hacia aguas abajo. La otra vasija adsorbente (la vasija "fuera de línea") recibe gas de purga procedente del tubo 22 de entrada que fluye en la dirección contraria al flujo de aire en la primera vasija de adsorción.

40 Con la vasija 13 en línea, el aire pasa a través de la válvula 7 abierta hacia la vasija 13 y a través de la válvula 19 abierta hacia la salida 21 para su procesamiento aguas abajo. La válvula 8 está cerrada ya que se ha cortado la alimentación de aire a la vasija 14 de adsorción. Todas las válvulas 20, 23, 24, 26, 10 y 11 están cerradas. Para comenzar la regeneración del lecho de la vasija 14 de adsorción, se abre la válvula 11 para despresurizar la vasija 14 y se abre la válvula 24 para permitir que un flujo de gas de purga atraviese la citada vasija 14 de adsorción. Típicamente, el gas de purga será un flujo de nitrógeno seco, libre de dióxido de carbono, obtenido de una unidad de procesamiento situada aguas abajo, por ejemplo la caja fría ("cold box") de una unidad de separación de aire. La válvula 30 está abierta para permitir que el gas de purga pase a través del calentador 28 y que se caliente hasta, por ejemplo, una temperatura de 100° C o más, antes de que entre en la vasija 14 a la temperatura necesaria. A medida que el gas de purga atraviesa la vasija 14 se desadsorbe dióxido de carbono y una onda de calor atraviesa el lecho 16' adsorbente. En el instante apropiado, por ejemplo cuando la onda de calor entra en el lecho 15', se cierra la válvula 30 y se abre la válvula 31 para que el gas de purga no se caliente y entre en la vasija 14 y desplace al pulso de calor hacia adelante a través del adsorbente 15'.

55 Mientras el adsorbente 16' ha sido regenerado por TSA, el gas de purga frío, en virtud de su menor presión, desadsorbe agua del adsorbente 15' por PSA y, dependiendo de si la onda de calor ha pasado al interior del adsorbente 15', también por TSA.

60 Al final del periodo de regeneración se cierra la válvula 24 y se abre la válvula 26 para desplazar gas de purga del lecho situado en la vasija 14. A continuación se cierra la válvula 11 para represurizar la vasija 14 con aire purificado. Entonces se cierra la válvula 26 y se abren las válvulas 8 y 20 para poner así en línea a la vasija 14. A continuación se puede regenerar la vasija 13 de una manera similar al proceso descrito anteriormente, con las vasijas 13, 14

estando en línea, despresurizándolas, regenerándolas, represurizándolas y volviéndolas a poner en línea en ciclos de funcionamiento por fases.

5 A partir de los datos de concentración de dióxido de carbono enviados por el sensor 35 el procesador 33 estima el tiempo necesario para completar la etapa en línea. Si el tiempo en línea estimado disminuye, el procesador actúa sobre el dispositivo 32 de control de flujo para incrementar el flujo de purga, y opcionalmente incrementa también la temperatura del calentador y/o el tiempo de funcionamiento del calentador, de tal manera que el pulso de calor es empujado a través del lecho que está fuera de línea más rápido y este lecho se enfría con mayor rapidez, de modo que está completamente regenerado a tiempo para volver a entrar en línea. Si las condiciones de alimentación cambian de tal forma que aumenta el tiempo en línea estimado, entonces el procesador reduce el flujo de purga, y opcionalmente reduce también la temperatura del calentador y/o el tiempo de funcionamiento del calentador, ahorrando energía.

15 Sin el control proporcionado por el procesador en respuesta a la concentración de dióxido de carbono en el aire de alimentación, las impurezas pueden saturar la vasija en línea en un instante en que el pulso de calor todavía está dentro del lecho de la vasija fuera de línea que está siendo sometido a regeneración. Como resultado de ello, el lecho quedará infra-regenerado, el calor añadido se habrá desperdiciado y esto podría tener graves implicaciones para el equipo situado aguas abajo si dicho equipo no puede soportar el pulso de calor que le será suministrado. Por ejemplo, una unidad de separación de aire suele tener un límite de temperatura de alimentación de aproximadamente 65°C. Convencionalmente, se evita este escenario sobredimensionando los lechos de tal manera que haya siempre tiempo suficiente para enfriar el lecho fuera de línea antes de que las impurezas saturen el lecho en línea. Sin embargo, por lo general es antieconómico hacer funcionar los lechos en este modo de "peor escenario posible" durante la mayor parte del año debido a la mayor potencia térmica y a la mayor caída de presión. La presente invención mejora de forma significativa la eficiencia al medir la concentración de adsorbato en el gas de alimentación que entra en el lecho en línea, y procesa la información resultante para controlar el flujo de purga hacia el lecho fuera de línea.

#### EJEMPLOS

30 Se ilustrará la invención con mayor detalle haciendo referencia a los siguientes Ejemplos, pero se debería comprender que no se considera que la presente invención esté limitada a ellos.

35 La práctica típica es diseñar lechos para la pre-purificación de alimentación de aire a una unidad criogénica de separación de aire utilizando una concentración de admisión asumida para dióxido de carbono de aproximadamente 400 ppm. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, medidas tomadas durante periodos nublados o durante periodos en los que la admisión al compresor principal de aire está cerca de una fuente de dióxido de carbono tal como un terminal de GNL, demuestran que la concentración de dióxido de carbono puede aumentar de forma rápida y dramática. Se han registrado hasta 10000 ppm pero 600 ppm es un valor más típico. Se puede diseñar un sistema de adsorción para afrontar estas condiciones, pero el flujo de gas de purga necesario es mucho mayor que para el caso en que en el aire sólo están presentes 400 ppm de dióxido de carbono. Por consiguiente, durante la mayor parte del año, cuando la concentración de alimentación es de 400 ppm, es beneficioso hacer funcionar el sistema de adsorción con un tiempo en línea mucho mayor y operar, por lo tanto, con un menor flujo de gas de purga, y sólo incrementar el flujo cuando aumenta el nivel de dióxido de carbono. Más adelante se proporcionan ejemplos del potencial ahorro en la caída de presión (y de este modo en la potencia del compresor)

45 Ejemplo 1: ciclo TPSA (tal como se describe en la Patente de EE.UU. N° 5.855.650)

	Caso de diseño	Caso de funcionamiento normal con CO <sub>2</sub> reducido en la Alimentación
Diámetro de la Vasija (mm)	6000	6000
Longitud Tangente-Tangente de la Vasija (mm)	3006	3006
Temperatura de Alimentación (°C)	18,3	18,3
Presión de Alimentación (MPa)	0,6	0,6
CO <sub>2</sub> en la Alimentación (ppm)	1000	400
Agua en la Alimentación (ppm)	3602	3602
Caudal de Alimentación Total (kmol/h)	5928	5928
Tiempo En Línea (h)	3,07	5
Tiempo de Regeneración (h)	2,57	4,5
Masa de alúmina (kg)	26958	26958
Masa de 13X (kg)	22869	22869
Temperatura de Regeneración (°C)	200	200
Caudal de Regeneración Necesario (kmol/h)	1121	735
Caída de Presión en la Etapa de Alimentación (kPa)	14,6	14,6

Caída de Presión en la Etapa de Regeneración (kPa)	12,3	6,17
Energía de Compresión Necesaria para vencer las Caídas de Presión (kW)	321	229

Como se puede observar a partir de los datos anteriores, la presente invención proporciona un ahorro de energía de 92 kW.

5

Tabla 2 Ciclo TSA

	Caso de diseño	Caso de funcionamiento normal con CO <sub>2</sub> reducido en la Alimentación
Diámetro de la Vasija (mm)	2438	2438
Longitud Tangente-Tangente de la Vasija (mm)	2527	2527
Temperatura de Alimentación (°C)	35	35
Presión de Alimentación (MPa)	0,9	0,9
CO <sub>2</sub> en la Alimentación (ppm)	600	400
Agua en la Alimentación (ppm)	6433	6433
Caudal de Alimentación Total (kmol/h)	743	743
Tiempo En Línea (h)	3,94	5
Tiempo de Regeneración (h)	3,44	4,5
Masa de alúmina (kg)	2869	2869
Masa de 13X (kg)	3703	3703
Temperatura de Regeneración (°C)	200	200
Caudal de Regeneración Necesario (kmol/h)	200	169
Caída de Presión en la Etapa de Alimentación (kPa)	7,93	7,93
Caída de Presión en la Etapa de Regeneración (kPa)	18,1	15,8
Energía de Compresión Necesaria para vencer las Caídas de Presión (kW)	59	53

10 Como se puede observar a partir de los datos anteriores, la presente invención proporciona un ahorro de energía de 6 kW.

15 Aunque la invención se ha descrito en detalle y haciendo referencia a ejemplos específicos de la misma, para cualquier persona con experiencia en la técnica resultará evidente que en dicha invención se pueden hacer diferentes cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de la misma tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso de adsorción por oscilaciones cíclicas en el que un lecho adsorbente está en un modo en línea, durante el cual se adsorbe adsorbato de una mezcla de gas de alimentación que atraviesa el lecho, mientras que otro lecho adsorbente está en un modo de regeneración, durante el cual el adsorbato adsorbido se desadsorbe del lecho, y dichos lechos alternan entre los citados modos, donde el tiempo necesario para completar el modo en línea está determinado por la cantidad total del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, la concentración del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación se monitoriza durante dicho modo en línea y el tiempo necesario para completar el modo en línea se predice a partir de dicha concentración monitorizada, y al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración se modifica en respuesta a cambios en el citado tiempo previsto, por lo cual el modo de regeneración se completa en el mismo tiempo que el modo en línea concurrente.
2. Un proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, en el cual existe un tiempo mínimo para la finalización del modo en línea basado en una concentración de referencia del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación, y el tiempo previsto para la finalización cambia sólo cuando la concentración monitorizada supera a dicha concentración de referencia hasta tal punto que el tiempo previsto supera a dicho tiempo mínimo.
3. Un proceso de acuerdo con la Reivindicación 1 o con la Reivindicación 2, en el cual el adsorbato es dióxido de carbono.
4. Un proceso de acuerdo con la Reivindicación 2, en el cual el adsorbato es dióxido de carbono y la citada concentración de referencia es de aproximadamente 400 ppm.
5. Un proceso de acuerdo con la Reivindicación 3 o con la Reivindicación 4, en el cual la mezcla de gas de alimentación es aire y además se adsorbe agua durante el modo en línea.
6. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la concentración del adsorbato se monitoriza mediante medición en la mezcla de gas de alimentación aguas arriba del lecho adsorbente en línea.
7. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración comprende el paso de caudal del gas de purga a través del lecho adsorbente en el modo de regeneración.
8. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración comprende el suministro al lecho adsorbente del calor del gas de purga en el modo de regeneración.
9. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual en la mezcla de gas de alimentación existen dos o más adsorbatos, el tiempo necesario para completar el modo en línea está determinado por la cantidad total de dos o más de los adsorbatos en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, las concentraciones de dichos adsorbatos en la mezcla del gas de alimentación que determinan el citado tiempo en línea se monitorizan durante dicho modo en línea, y el tiempo necesario para completar el modo en línea se predice a partir de dichas concentraciones monitorizadas, y al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración se modifica en respuesta a cambios en dicho tiempo previsto, por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.
10. Un proceso de separación de aire, en el cual se comprime aire en un compresor principal de aire para proporcionar aire comprimido; se elimina dióxido de carbono del aire comprimido mediante un proceso de adsorción por oscilaciones cíclicas realizado como se define en cualquiera de las Reivindicaciones 2 a 8, y la alimentación de aire libre de dióxido de carbono se suministra a una unidad de separación de aire para proporcionar al menos una corriente producto enriquecida en un componente de la alimentación de aire libre de dióxido de carbono.
11. Un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas para realizar un proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, comprendiendo dicho aparato:
- al menos dos lechos (13, 14) adsorbentes;  
un circuito de control (7, 8, 10, 11, 19, 20, 23, 24, 26 – 32 & 34) para mantener a un lecho (13) en un modo en línea durante un tiempo determinado por la cantidad total de adsorbato en la mezcla (1) de gas de alimentación suministrada al lecho durante dicho modo, pudiendo, durante dicho modo en línea, adsorberse adsorbato de una mezcla de gas de alimentación que atraviesa el lecho, y otro lecho (14) en un modo de

- regeneración, durante el cual se puede desadsorber del lecho el adsorbato adsorbido, y alternando dichos lechos entre los citados modos; y
- 5 un sensor (35) de adsorbente total para medir la cantidad total del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación suministrada al lecho durante el modo en línea, determinando de ese modo la duración del modo en línea;
- un dispositivo (35) de monitorización de concentración para monitorizar la concentración del adsorbato en la mezcla de gas de alimentación durante dicho modo en línea; y
- 10 un procesador (33) para predecir, a partir de la citada concentración monitorizada, el tiempo necesario para completar el modo en línea,
- modificando dicho circuito de control (28, 32) al menos una condición de funcionamiento del modo de regeneración en respuesta a cambios en dicho tiempo previsto, por lo cual el modo de regeneración se completa al mismo tiempo que el modo en línea concurrente.
12. Un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas de acuerdo con la Reivindicación 11, en el cual el dispositivo (35) de monitorización de concentración mide la concentración del adsorbente en la mezcla (1) de gas de alimentación aguas arriba del lecho adsorbente en línea.
- 15
13. Un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas de acuerdo con la Reivindicación 11 o con la Reivindicación 12, en el cual el circuito de control controla (32) el caudal de gas de purga que pasa a través del lecho adsorbente en el modo de regeneración.
- 20
14. Un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 11 a 13, en el cual el circuito de control controla (28) el calor de gas de purga enviado al lecho adsorbente en el modo de regeneración.
- 25
15. Un sistema de separación de aire para realizar un proceso de acuerdo con la Reivindicación 10 que comprende:
- un compresor principal de aire para proporcionar aire comprimido;
- 30 un aparato de adsorción por oscilaciones cíclicas de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 11 a 14 para proporcionar una alimentación de aire libre de dióxido de carbono y
- una unidad de separación de aire para separar dicha alimentación de aire libre de dióxido de carbono para proporcionar al menos una corriente producto enriquecida en un componente de la misma.

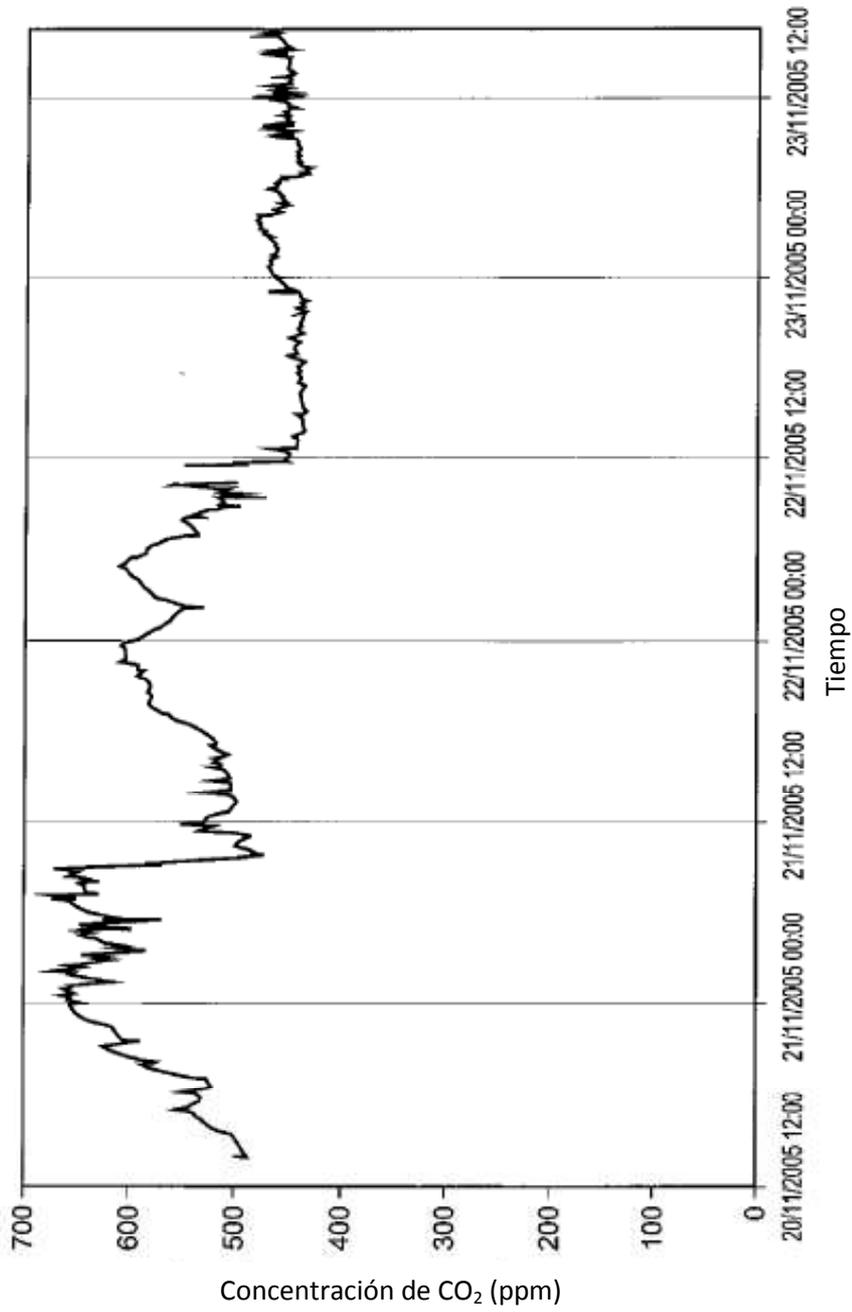


FIG. 1

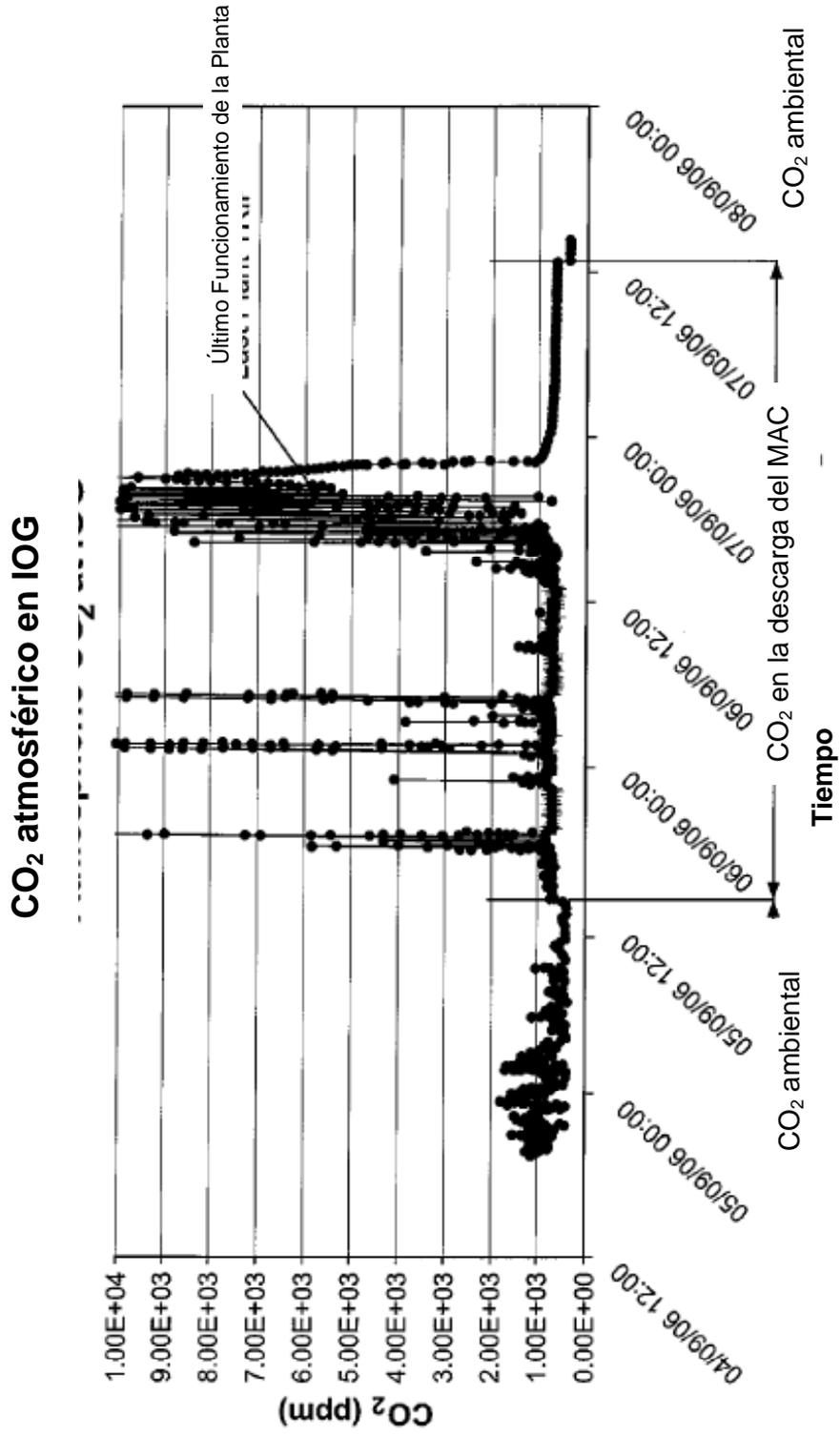


FIG. 2

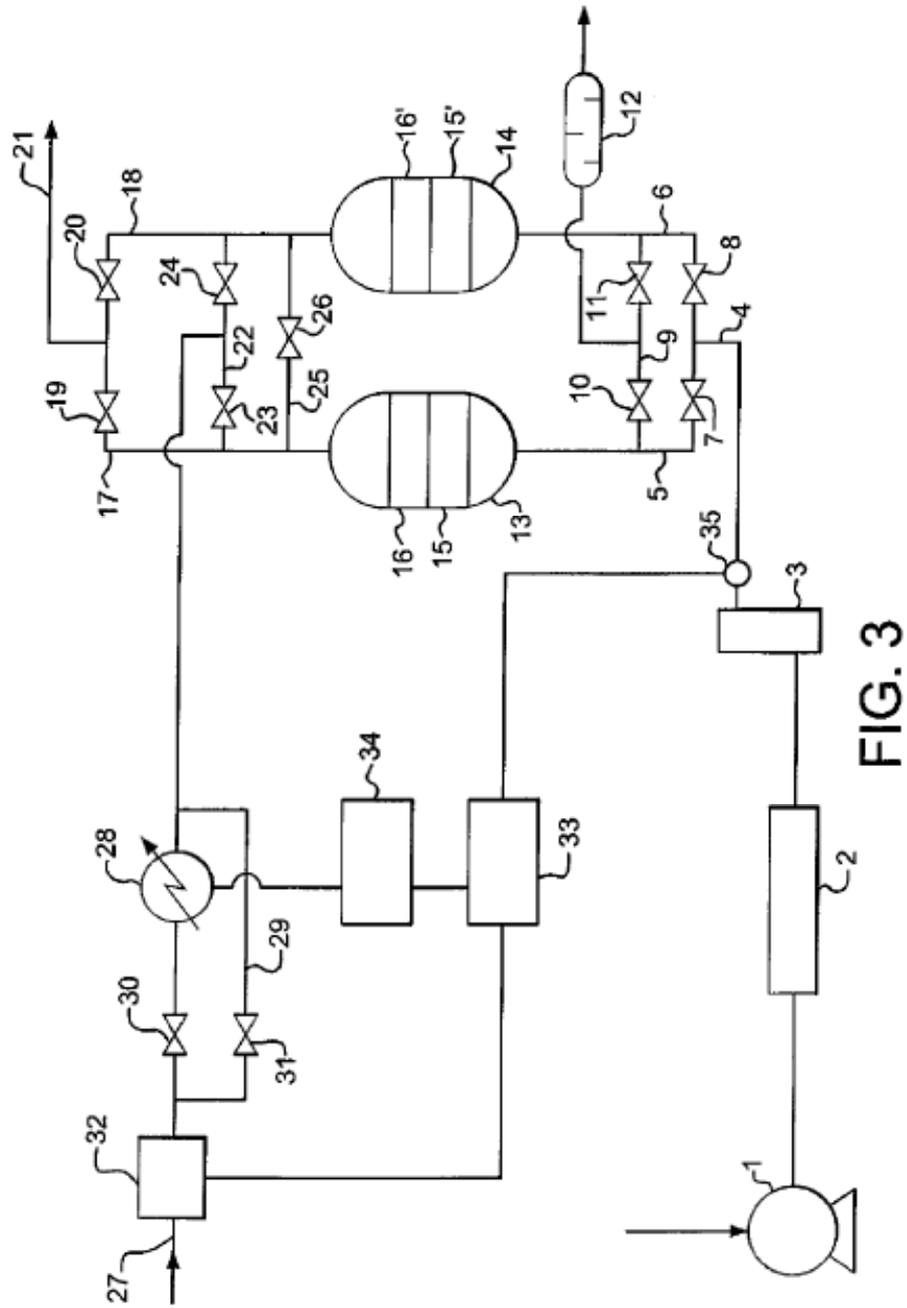


FIG. 3