

387244

387244

P = 46.721

Docket L-7271-L
(Div.º)

14 EN



Memoria descriptiva

SECCION TECNICA
CLASIFICACION I. P. C
CLASE <u>B01</u>
SUBCLASE <u>D</u>

para solicitar PATENTE DE INVENCION en ESPAÑA **por 20 años**

a nombre de UNION CARBIDE CORPORATION

entidad / de nacionalidad norteamericana

con domicilio en 270 Park Avenue, Nueva York, N.Y., Estados Unidos de América

por: "UN APARATO PARA SEPARAR CONTINUAMENTE UNA MEZCLA GASEOSA DE ALIMENTACION"
(Clase Internacional)



Esta invención se refiere a un aparato para separar continuamente al menos un componente de una mezcla gaseosa de alimentación en varios lechos adsorbentes.

5 Son bien conocidos procedimientos de adsorción con variación de presión para separar mezclas gaseosas por adsorción selectiva de al menos un componente a una presión inicial superior y desorción por descompresión a una segunda presión más baja. En muchos casos se favorece la desorción por purga, usualmente a la presión inferior y
10 con frecuencia con una porción del producto gaseoso no adsorbido como fluido de purga. Puede acelerarse también la desorción por calentamiento del adsorbente, bien sea por serpentines incorporados o indirectamente por medio de un gas de purga calentado por encima de la temperatura de
15 la etapa de adsorción. En algunos sistemas, la desorción puede llevarse a cabo simplemente por reducción de la presión y sin calentamiento. Estos últimos sistemas son fundamentalmente adiabáticos y son preferidos generalmente en la técnica debido a su sencillez.

20 El método común de operar un procedimiento de adsorción de ciclo rápido consiste en controlar todas las etapas del ciclo con un regulador de tiempos de leva programada. Se deja que transcurra cada etapa del ciclo durante un período de tiempo predeterminado, por lo que este tipo de control del ciclo se denomina comúnmente control "de
25 ciclo fijo". Típicamente se utiliza un regulador eléctrico de tiempos con levas múltiples, y cada una de las válvulas de conmutación está controlada por los conmutadores de las levas.

30 Las desventajas del control "de ciclo fijo" son

387244

14 ENE



inherentes al procedimiento antes mencionado consistente en dejar que transcurra un período de tiempo fijo predeterminado para cada etapa del ciclo. Al final de dicho período de tiempo, la etapa se termina, esté completada o no lo esté. Como resultado, pueden presentarse ciertas situaciones indeseables. Por ejemplo, si el caudal de gas para elevar la presión del adsorbedor desde la presión inferior de desorción hasta la presión superior de adsorción es demasiado bajo, el adsorbedor quedará conmutado a la etapa de adsorción antes de que se haya puesto completamente bajo presión. El resultado es un grave desajuste del flujo de producto o de la presión, y posiblemente un intenso desgaste del adsorbente. Análogamente, si el caudal de puesta bajo presión es demasiado alto, el adsorbedor alcanzará la presión oportuna antes de quedar conmutado a la etapa de adsorción. El resultado es un grave desajuste del flujo de producto, debido a que se ha interrumpido el flujo de puesta bajo presión. Esto es, que no se aparta nada de producto gaseoso para la puesta bajo presión durante este período, y la velocidad de descarga de producto del procedimiento aumenta bruscamente.

Otra desventaja del control de "ciclo fijo" es que la duración del ciclo es independiente del caudal de alimentación. A caudales de alimentación bajos, no se utiliza plenamente la capacidad del adsorbente y se acusan elevadas pérdidas de producto debido a una descompresión más frecuente de lo necesario. A caudales de alimentación elevados, las impurezas se abrirán paso antes del final de la etapa de adsorción, y se descargará producto impuro. Tal como aquí se emplea, la expresión "abrirse paso"



se refiere al momento de una etapa de adsorción en que la concentración de adsorbato aumenta de manera importante en el producto gaseoso no adsorbido descargado del lecho adsorbente.

5 Es un objeto de esta invención el proporcionar un aparato de control para un procedimiento de adsorción con variación de presión que evita desajustes graves del flujo de producto o de la presión.

10 El invento también proporciona un aparato de control que permite la plena utilización de la capacidad del adsorbente bajo caudales de alimentación variables.

15 Todavía la invención proporciona un aparato de control que permite alcanzar una elevada pureza y una alta recuperación de producto separado bajo caudales de alimentación variables.

20 Un objeto más de esta invención es proporcionar un aparato de control que se ajusta por sí mismo a los cambios en la velocidad de adsorción relativa en el sistema a fin de evitar las fluctuaciones de caudal y de presión en el producto separado, alta pureza y alta recuperación del producto separado, y alta utilización de la capacidad del adsorbente, todo ello sin necesidad de recipientes especiales para la retención de producto en el sistema.

25 La característica del aparato de este sistema de control se refiere a una realización de procedimiento de adsorción con variación de presión para separar continuamente una mezcla gaseosa de alimentación en tres lechos de adsorbente como mínimo. Este procedimiento incluye las etapas cíclicas repetidas de poner sucesivamente en con-
30 tacto la mezcla gaseosa de alimentación con todos y cada

387244

14 ENE



5 uno de los lechos a la presión inicial superior para la adsorción selectiva de un componente como mínimo y la descarga del producto gaseoso empobrecido en un componente, desorción por descompresión del lecho a una segunda presión más baja, y nueva puesta bajo presión, al menos parcial, del lecho desorbido por el producto gaseoso seguida por un nuevo contacto con la mezcla gaseosa de alimentación.

10 El método de control mejorado para este procedimiento requiere la medida de la velocidad de adsorción relativa de un primer lecho adsorbente durante la etapa de adsorción selectiva. Tal como aquí se utiliza, la expresión "velocidad de adsorción relativa" es la velocidad de aproximación a la capacidad de equilibrio de un lecho adsorbente particular para un material o materiales adsorbibles particulares. Una variable que afecta a la velocidad de adsorción relativa es la velocidad de carga de gas - la velocidad de paso de gas a través del lecho que se pone en contacto con la mezcla gaseosa de alimentación. Puede medirse la velocidad de paso del gas de alimentación propiamente dicha, o, alternativamente, puede medirse la velocidad de paso del producto gaseoso no adsorbido descargado del lecho que se encuentra en servicio. Evidentemente, ésta última será inferior a la velocidad de paso del gas de alimentación en la cantidad correspondiente a la velocidad de adsorción, pero ambas proporcionan una medida de la velocidad de carga del gas en el adsorbente. Por ejemplo, si aumenta el caudal del gas de alimentación y permanece constante su composición, aumenta también la velocidad de adsorción relativa. Otra variable que afecta a la

15
20
25
30



5 velocidad de adsorción relativa es la composición del gas de alimentación; un contenido más elevado de sustancias adsorbibles hace que aumente esta velocidad. Todavía otra variable es la temperatura del gas de alimentación. Como la capacidad de todos los adsorbentes disminuye con la temperatura creciente, la velocidad de adsorción relativa aumenta también en estas circunstancias si la velocidad de carga de gas permanezca constante. Inversamente, una presión más elevada hace aumentar la capacidad del adsorbente y por tanto un aumento en la presión tenderá a reducir la velocidad de adsorción relativa. La proximidad a la que un adsorbente dado se acerca a su capacidad de equilibrio teórica recibe el nombre de actividad. Permaneciendo constantes otros factores, el aumento de la actividad del adsorbente da por resultado una velocidad de adsorción relativa inferior. Se considera que puede cambiar simultáneamente más de una de las variables anteriormente mencionadas, y el método de control puede requerir múltiples medidas para establecer la velocidad de adsorción relativa.

20 Simultáneamente y de manera continua con la medida de la velocidad de adsorción relativa, una porción del producto gaseoso descargado del primer lecho adsorbente se aparta para su vuelta al procedimiento, y el producto gaseoso no apartado se descarga del procedimiento. Al menos una parte de la porción apartada se utiliza como gas de recompresión para otro lecho de adsorbente que haya completado su etapa de desorción. Cualquier porción de producto apartado remanente puede, por ejemplo, utilizarse para purgar todavía otro lecho adsorbente durante su etapa de desorción. La medida de la velocidad de adsorción

387244

14 ENE



relativa antes mencionada se convierte en una señal transmitible, eléctrica o neumática, y la velocidad de paso al procedimiento del gas apartado de retorno se controla por la señal transmitida de la velocidad de adsorción relativa de tal manera que la relación de la velocidad de adsorción relativa a la velocidad de paso del gas apartado de retorno es constante.

En una realización preferida de la invención, la presión del gas producido de recompresión se mide también durante la recompresión del primer lecho desorbido, y esta medida se convierte en una señal transmitible (neumática o eléctrica) cuando la presión se eleva a un valor predeterminado, preferiblemente dentro de 0,351 a 0,703 kg/cm² de la presión superior inicial de la mezcla gaseosa de alimentación. Se emplea la señal para, simultáneamente: 1) terminar la recompresión del primer lecho y hacer volver el mismo a la etapa de adsorción selectiva, y 2) iniciar los cambios de ciclo en los otros lechos.

Se vé que el método de control de esta invención mantiene flujos constantes y uniformes en el sistema sin desajustes de la presión y sin necesidad de dispositivos de volumen de oscilación o de amortiguación de oscilaciones. Por otra parte, controla la velocidad de paso del producto gaseoso apartado que se utiliza para el restablecimiento de los lechos adsorbentes y mantiene esta velocidad proporcional a la velocidad de adsorción relativa. La duración de la etapa de adsorción depende también de la velocidad de adsorción relativa, y por ello el método de control dosifica en esencia el volumen adecuado de alimentación a cada adsorbedor que el adsorbedor es capaz de manipular



durante cada ciclo. No obstante, el método de control funciona con independencia del tiempo y es sensible únicamente a la velocidad de adsorción relativa.

5 Permaneciendo constantes todos los restantes factores, un adsorbedor de un tamaño dado puede purificar aproximadamente un volumen fijo de alimentación (carga de gas total) durante una etapa de adsorción, cualquiera que sea el caudal de alimentación. Si aumenta el flujo de alimentación, la capacidad del adsorbedor se utilizará más
10 rápidamente, debiendo acortarse la duración del ciclo, y viceversa. En general, la duración del ciclo debe ser inversamente proporcional al caudal a través del adsorbedor. La presente invención permite tal control de la capacidad en conjunto con el control del caudal del gas apartado.

15 Como se ha indicado anteriormente en esta Memoria, es posible que no permanezcan necesariamente constantes todos los factores restantes, pudiendo coexistir varias otras variables que influyen en la capacidad del lecho para el adsorbato y/o en la velocidad a la que se utiliza esta capacidad. La presente invención es capaz de acomodarse a
20 cualquiera de dichos factores que influyen en la velocidad de adsorción relativa, y a la totalidad de los mismos. El sistema acepta cualquier demanda externa que se ejerza sobre él, y efectúa los necesarios ajustes internos para
25 mantener una operación suave y eficiente.

30 El aspecto de aparato de la invención incluye al menos tres lechos adsorbentes con conductos de intercomunicación y válvulas asociadas para la introducción consecutiva de la mezcla gaseosa de alimentación por un extremo de cada lecho como lecho de adsorción a la presión ini-

387244



cial superior con descarga del producto gaseoso empobrecido en un componente por el otro extremo del lecho, la descompresión a una segunda presión inferior para la desorción y una nueva puesta bajo presión, al menos parcial, del lecho desorbido por el gas producido, seguida de una nueva puesta en contacto con la mezcla gaseosa de alimentación.

El aparato requiere también medios para medir la velocidad de adsorción relativa en los lechos de adsorción cuando se encuentran en contacto con la mezcla gaseosa de alimentación. Se emplean medios de conducción para apartar una porción del producto gaseoso descargado de cada lecho de adsorción cuando se pone en contacto con el gas de alimentación y retornar la porción apartada del producto gaseoso a los lechos de adsorción. En el conducto de desviación del producto gaseoso se proveen medios de control del flujo, como por ejemplo, una restricción variable. Se proveen también medios para la transmisión de señales desde los medios de medida de la velocidad de adsorción relativa a los medios de control del flujo arriba mencionados para el ajuste a fin de mantener una relación predeterminada constante de la velocidad de adsorción relativa a la velocidad de retorno del producto gaseoso apartado.

En una realización preferida, este aparato requiere además medios para medir la nueva puesta bajo presión del gas producido, y la presión entre los medios de control del flujo y uno de los extremos de los lechos adsorbentes. Medios para la secuencia del flujo de ciclo están asociados con los conductos y válvulas de intercomuni-



cación antes mencionados para iniciar los cambios de flujo entre los lechos adsorbentes. Los medios para la medida de la presión de recompresión del gas producido pueden estar localizados, por ejemplo, en los propios lechos o en conductos que unen los lechos. Otros medios (eléctricos o neumáticos) transmiten señales desde los medios de medida de la velocidad de recompresión del gas producido hasta los medios de secuencia del flujo de ciclo cuando el gas de recompresión se eleva hasta un valor predeterminado. Estas señales realizan simultáneamente las funciones siguientes: 1) terminan la recompresión de cada lecho y ponen nuevamente al mismo en la etapa de adsorción, y 2) inicial los cambios de ciclo en los otros lechos.

En otra realización, se proveen medios para detectar el frente de adsorción de transferencia de masa en cada uno de los lechos de adsorbente, junto con medios para la transmisión de señales de esta detección. Se incluyen medios adicionales para medir la presión de recompresión del gas producido entre los medios de control del flujo y un extremo de los lechos de adsorción, así como medios para la transmisión de estas señales. Se proveen medios adicionales para comparar las dos señales y generar una tercera señal representativa de esta comparación, y para regular el flujo del gas producido apartado por la tercera señal. Se proveen medios para la secuencia del flujo de ciclo y se asocian con los medios de detección del frente de transferencia de masa o con los medios de medida de la presión de recompresión.

El sistema de control de esta invención puede, por ejemplo, utilizarse en un procedimiento con variación

387244



de presión para separar mezclas gaseosas que contienen hidrógeno como componente fundamental junto con componentes menos abundantes selectivamente adsorbibles tales como hidrocarburos alifáticos ligeros, monóxido de carbono, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, argón, y agua. Los gases de alimentación ricos en hidrógeno que contienen al menos uno de estos componentes adsorbibles incluyen: gas residual de las unidades de reformado catalítico, gases de purga de circuitos de síntesis de metanol, amoníaco disociado, gas de cabezas del desmetanizador, hidrocarburos reformados con vapor, gases de purga de circuitos de síntesis de amoníaco, hidrógeno electrolítico, e hidrógeno de células de mercurio. La invención es útil también para separar las sustancias adsorbibles antes mencionadas de mezclas gaseosas en las que el constituyente principal es nitrógeno o helio. El adsorbente se selecciona sobre la base de la separación deseada, y puede, por ejemplo, ser un tamiz molecular zeolítico cristalino, carbón activado o gel de sílice.

En los dibujos que se adjuntan:

La Figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato adecuado para la práctica del sistema de control de capacidad de la invención.

La Figura 2 muestra un sistema de control de capacidad alternativo que utiliza una medida de la presión del gas de alimentación que influye en la velocidad de adsorción relativa.

La Figura 3 es otro sistema más de control de la capacidad que utiliza una medida de la temperatura del gas de alimentación.



La Figura 4 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para la puesta en práctica del control de la capacidad utilizando la detección del frente de adsorción y el control del ciclo basado en la medida del gas de recompresión producido.

La Figura 5 es una secuencia de tiempos ilustrativa de las diversas etapas de ciclo que podrían llevarse a la práctica con el sistema de control de capacidad y ciclo de la figura 4.

La Figura 6 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de control de capacidad y de ciclo adecuado para tres lecho adsorbentes en relación de flujo paralelo, y

la Figura 7 es una secuencia de tiempos ilustrativa de las diversas etapas de ciclo adecuadas para el sistema de la Figura 6.

Las partes correspondientes se han designado por el mismo número en los diversos dibujos.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, la Figura 1 muestra un sistema de control de la capacidad adecuado para el procedimiento de adsorción con variación de presión 10. La mezcla gaseosa de alimentación entra por el conducto 11 a la presión superior inicial, después de lo cual al menos un componente se adsorbe selectivamente en el procedimiento 10 y el gas producido empobrecido en un componente se descarga del mismo a través del conducto 12 todavía a la misma presión aproximadamente (despreciando la caída de presión en el lecho adsorbente). Una corriente de gas desorbido se descarga del procedimiento 10 a través del conducto 12a a la segunda presión, más baja. Una porción del gas producido se aparta o desvía por el

387244



5 conducto 13 y retorna al procedimiento 10, siendo utilizada al menos una parte de las misma como gas de recompresión para un lecho de adsorbente desorbido. Antes de su retorno, se ajusta la velocidad de flujo de este gas producido apartado en el sistema de control de la velocidad de flujo del gas apartado 14. El gas producido no apartado del conducto 12 se descarga del sistema por el conducto 15.

10 La velocidad de flujo del gas de alimentación al procedimiento 10 se mide como una presión diferencial a través del diafragma 16 en el conducto 11, se convierte en una señal por el transmisor 17 y se hace pasar a través de medios eléctricos o neumáticos 18 como señal de control hasta la restricción variable 19 en el conducto del gas producido apartado 13. Tal como se ilustra, el elemento 19
15 es una válvula ajustada automáticamente cuyo grado de restricción depende de la magnitud de la señal de control 18. Dos derivaciones de presión 20 y 21, aguas arriba y aguas abajo respectivamente de la resistencia de flujo 19 están conectadas al transmisor diferencial 22, que genera una
20 señal 23 representativa de $P_{20,21}$. La señal 23 se envía al control de presión diferencial 24, que compara la señal con un valor preseleccionado y genera una señal 25
25 indicativa de variación, en más o en menos, con respecto a un valor preseleccionado de P , a través de 19. La señal 25 acciona al regulador de flujo 26 localizado en el conducto del gas producido apartado 13, aguas abajo de la restricción de flujo 19 y aguas arriba de su retorno al procedimiento 10. La señal 25 opera al regulador de flujo
30 26, ajustando el flujo de gas apartado para mantener $P_{20,21}$ en el valor preseleccionado.



En tanto que la señal 18 permanezca constante, la restricción 19 permanecerá inalterada y el flujo de gas apartado que retorna al procedimiento 10 se mantendrá en un valor constante. En cambio, en caso de cambiar la señal 18 del caudal del gas de alimentación, por ejemplo, si aumenta su valor debido a un aumento de la velocidad de flujo, la restricción 19 se abrirá adicionalmente y presentará menos resistencia al flujo, con lo cual la velocidad de flujo del gas apartado aumentará hasta que el valor de ΔP 20,21 se restablezca de nuevo en su magnitud preseleccionada. De esta manera, la resistencia total en el conducto 13 del gas procedi apartado se ajusta de tal modo que el caudal del gas apartado al procedimiento 10 responde a la magnitud de la señal 18 del caudal del gas de alimentación, y es uniforme y suave para cualquier valor fijo de la señal 18.

Resumiendo lo que antecede, el caudal del gas apartado depende de la demanda impuesta al sistema. El gas apartado se regula manteniendo un caudal deseado a través de una restricción en la corriente de gas apartado. El control de respuesta a la capacidad se obtiene ajustando el punto fijo de referencia de la restricción total en la corriente de gas apartado en respuesta a la velocidad de adsorción relativa impuesta al sistema.

Si la señal producida por los medios de control de la velocidad de adsorción relativa es no-lineal, puede ser preferible convertir la señal en una función lineal del flujo. La diferencia de presión a través del diafragma 16 es una función del cuadrado del flujo y puede requerir tal conversión. La conversión en una señal lineal

387244

14 ENL



es deseable cuando se emplea una restricción variable en el sistema de control del caudal del gas apartado, tal como la válvula de regulación automática 19. El dispositivo 27, como por ejemplo un computador analógico eléctrico o neumático, convierte la señal 28 en una que varía linealmente con el caudal de la alimentación. Si se emplease una restricción fija 19 en el sistema 14 de caudal del gas apartado, como por ejemplo, un diafragma, la señal de velocidad de adsorción del transmisor 17 no necesitaría ser convertida en una función lineal del flujo.

La Figura 2 ilustra otra realización de control de la capacidad que utiliza un diafragma para la medida del caudal del gas apartado, y la presión del gas de alimentación como otra variable medida como factores que afectan a la velocidad de adsorción relativa (además del caudal del gas de alimentación). La presión diferencial a través del diafragma 19 se comunica, mediante las derivaciones de presión 20 y 21, al transmisor 22, y la señal resultante 25, al igual que la señal 18 del transmisor diferencial 17 del caudal de la alimentación, es una función del cuadrado del caudal. Ambas señales 18 y 25 pueden transmitirse a un controlador 30 de relación de flujo, el cual relaciona ambos flujos y genera una señal 25a representativa de la variación, en más o en menos, con respecto a un valor deseado previamente fijado de la relación. La señal 25a se transmite al regulador 26, dispuesto en serie con la restricción del diafragma 19 para mantener la relación deseada entre el caudal del gas de alimentación y el caudal del gas apartado como se ha descrito en relación con la realización de la Figura 1.

387244

14 Ene.



Como la presión del gas de alimentación afecta a la capacidad del adsorbente, puede por consiguiente influir en la cantidad de alimentación y en el tiempo requerido para cargar el lecho hasta el límite permisible, es decir, la velocidad de adsorción relativa. La presión del gas de alimentación se mide mediante la derivación 31 en el transmisor 32, y éste último produce a su vez una señal 33, eléctrica o neumática, que es convertida por el computador analógico 34 en una señal que refleja la relación apropiada entre presión y capacidad del adsorbente. La señal resultante 35 se transmite al controlador de la relación de flujo 30, el cual ajusta el punto fijo de referencia. Por ejemplo, si la presión del gas de alimentación aumenta permaneciendo constantes otros factores, la velocidad de adsorción relativa disminuye, la duración de la etapa de adsorción puede aumentarse, y el caudal del gas apartado se reducirá a fin de repartir su flujo uniformemente a lo largo del mayor espacio de tiempo de la etapa de adsorción.

La Figura 3 es otra realización más de control de la capacidad que emplea la temperatura del gas de alimentación como la única variable medida que afecta a la velocidad de adsorción relativa. Este sistema es más sencillo que los de las figuras 1 y 2, y puede utilizarse si se espera que todas las variables distintas de la temperatura permanezcan constantes. La temperatura del gas de alimentación se mide a través de la sonda 40, que puede ser por ejemplo un bulbo de resistencia, la cual está conectada al transmisor 32. Este último genera una señal de salida 33 que a su vez es modificada por el computador analógico 34 en una señal que refleja la relación correcta

387244

14 ENE 1971



entre temperatura de la alimentación y capacidad del adsorbente. La señal 18 de salida ajustada resultante se utiliza para ajustar la válvula de control 19 como resistencia variable en el conducto 13 del gas producido apartado. El regulador 26 es una válvula de retención que mantiene una presión fija preseleccionada en un punto entre 26 y la válvula de control 19. Esta disposición supone que la presión del gas producido apartado aguas arriba de la válvula 19 es ya constante. Resumiendo la operación de esta realización, si disminuye la temperatura del gas de alimentación, la capacidad del adsorbente aumenta y la velocidad de adsorción relativa disminuye. El ciclo puede prolongarse y el caudal del gas apartado se reducirá adecuadamente.

En las Figuras 2 y 3, como en la Figura 1, al menos una parte del gas apartado se utiliza para poner nuevamente bajo presión los lechos adsorbentes después de la desorción. En la mayoría de las realizaciones, el gas de recompresión constituye la mayor parte del gas apartado. En la ilustración siguiente, la totalidad del gas apartado se utiliza para la recompresión.

La Figura 4 ilustra todavía otra realización en la cual se emplea el aspecto de sistema de control de capacidad de la invención en combinación con un sistema de control de ciclo basado en medir la presión del gas de recompresión producido durante la recompresión del primer lecho desorbido, y se controla el gas de flujo o de recompresión de la manera previamente descrita. La medida de la presión del gas de recompresión se convierte en una señal transmitible cuando se eleva hasta alcanzar un valor pre-



determinado, y se utiliza la señal simultáneamente para:
1) terminar la recompresión del primer lecho y llevar nuevamente el mismo a la etapa de adsorción selectiva, y 2) iniciar los cambios de ciclo en los otros lechos adsorbentes. En particular, se ajusta el caudal del gas apartado de tal manera que la etapa de recompresión se complete prácticamente al mismo tiempo que termina la etapa de adsorción en el lecho que se encuentra en servicio.

Cuatro lechos adsorbentes, A, B, C y D se conectan en disposición de flujos paralelos entre el distribuidor múltiple de la mezcla gaseosa de alimentación 11 y el distribuidor múltiple del gas efluente que contiene el producto no-adsorbido, 12. Las válvulas automáticas 1A, 1B, 1C y 1D dirigen el flujo de gas de alimentación respectivamente al primer lecho A, al segundo lecho B, al tercer lecho C, y al cuarto lecho D. Las válvulas automáticas 2A, 2B, 2C y 2D, respectivamente, dirigen el gas producido desde los mismos lechos hasta el distribuidor de producto 12. Los componentes adsorbidos se rechazan por descompresión en contracorriente y purga a través del colector múltiple de residuos 50 situado junto al extremo de entrada de los lechos. Los adsorbedores A y B se reúnen en sus extremos de entrada al colector múltiple de residuos 50 por un conducto 51, que está provisto de válvulas automáticas 3A y 3B. Análogamente, los adsorbedores C y D se unen al colector múltiple de productos residuales 50 en sus extremos de entrada por el conducto 52, que está provisto de válvulas automáticas 3C y 3D.

Está dispuesto un conducto de compensación 53 que une los extremos de descarga de los adsorbedores A y B;

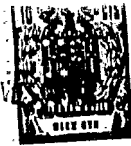
387244

14 ENE



análogamente está dispuesto un conducto de compensación 54 que une los extremos de descarga de los adsorbedores C y D. Para conseguir la compensación de la presión, están dispuestas válvulas automáticas 4AB y 4CD en los conductos 53 y 54 respectivamente. Las válvulas 55 y 56, en serie con las válvulas de compensación 4AB y 4CD respectivamente, son dispositivos de estrangulación preajustados manualmente que impiden que se produzcan caudales excesivamente altos y que permiten el ajuste y la equilibración de las velocidades de compensación entre los pares de lechos de adsorción AB y CD.

Están provistas válvulas automáticas 5A, 5B, 5C y 5D en los extremos de descarga de los lechos, dos de las cuales se abren simultáneamente para dar paso al gas de descompresión en paralelo desde un lecho adsorbente para uso como gas de purga en otro lecho. Las válvulas manuales 57 y 58 en los conductos de cruzamiento de purga 59 y 60, respectivamente, sirven para la misma finalidad que se ha explicado previamente para las válvulas 55 y 56 en el circuito de compensación de presión. Los conductos de cruzamiento de purga 59 y 60 (montados en relación de flujos paralelos en las tuberías) contienen también reguladores de retención de presión 61 y 62 orientados en direcciones de flujos opuestos a fin de controlar el flujo en cualquier dirección entre los lechos A ó B y los lechos C ó D. Los reguladores de retención de presión 61 y 62 están ajustados para mantener una presión mínima, p. ej., $3,51 \text{ kg/cm}^2$, en el lecho que sufre la descompresión en paralelo. Cuando se alcanza esta presión, terminan las etapas de descompresión y purga en paralelo. Esta disposición impide la pro-



5 longación de la descompresión en paralelo hasta una presión excesivamente baja, y por tanto permite un control positivo del frente de adsorción de un componente durante esta etapa. La presión puede elegirse de tal manera que se impida la ruptura del frente o que se permita una ruptura limitada, según se desee.

10 Como se ha indicado previamente, las válvulas 55, 56 y 57 y 58 son dispositivos de limitación del caudal que impiden el deterioro de los lechos debido a valores excesivos de ΔP y de la velocidad del fluido. Una precaución similar puede tomarse durante la descompresión en contracorriente, por medio de la válvula de estrangulación preajustada 63 que actúa como derivación alrededor de la válvula de residuos principal 64 en el conducto de residuo 50. Durante la descompresión en contracorriente, la válvula automática principal de residuo 64 está cerrada, lo cual obliga al gas a seguirla ruta de la derivación a través de la válvula 63. Durante la etapa siguiente de purga a la presión más baja, la válvula 64 se abre para reducir al mínimo la resistencia al flujo en el conducto de residuo 50.

25 La etapa de adsorción se da por terminada preferiblemente cuando el frente de adsorción del componente seleccionado está enteramente dentro del lecho. Este punto puede determinarse de una manera bien conocida por los expertos en la técnica, utilizando las condiciones de la alimentación y la composición de la misma, así como la capacidad y las características dinámicas del adsorbente. Asimismo, la etapa de igualación de presión se interrumpe preferiblemente cuando el frente de adsorción esta toda-

387244

14 ENE



vía enteramente dentro del lecho y antes de su ruptura. Esto permite la separación de las sustancias adsorbibles del gas del espacio vacío por el adsorbente en el extremo de descarga del lecho, de tal manera que el gas de igualación emergente tiene virtualmente la misma pureza que el gas producido. La etapa de descompresión en paralelo siguiente puede continuar más allá del punto de ruptura dado que el gas emergente se utiliza únicamente para purgas, y puede controlarse mediante los reguladores 61 y 62, antes mencionados. La ruptura puede, por ejemplo, identificarse por comprobación de la concentración de sustancias adsorbibles en el gas de descarga, y detección del momento en que esta concentración aumenta apreciablemente. La etapa de purga se realiza con la máxima eficiencia separando solamente una parte de las sustancias adsorbibles del lecho con el gas de purga, esto es, una desorción parcial. El flujo en contracorriente de gas de purga y de gas producido de recompresión empuja las sustancias adsorbibles residuales hacia atrás, hacia el extremo de entrada. Esto asegura un producto puro incluso durante la parte inicial de la etapa de adsorción siguiente.

El conducto del gas producido apartado 13 está unido al sistema 14 de control del caudal del gas apartado, y el gas al caudal ajustado entra en el conducto 65, comunicándose a través de las válvulas de recompresión 6A-6D con los conductos de producto a los adsorbedores A-D respectivamente.

La operación del circuito de recompresión del producto puede ilustrarse con respecto al adsorbedor D, y los restantes adsorbedores A-C se ponen de nuevo bajo presión

387244

14

ENC. 1977



de una manera análoga. Una vez que el adsorbedor D ha completado su etapa de purga a la presión mínima, las válvulas 3D y 5D se cierran y la válvula de igualación de presión 4CD en el conducto 54 se abre para proporcionar la necesaria comunicación de flujo con el adsorbedor C (inicialmente a una presión superior). Simultáneamente, o una vez que se ha conseguido la igualación de presiones, una porción del gas producido del adsorbedor A en el colector múltiple de producto 12 se aparta consecutivamente a través del conducto 13 y del sistema 14 de control del caudal del gas apartado, del conducto 65 y desde éste, a través de la válvula 6D, yendo a parar al extremo de descarga del adsorbedor D. Este flujo continúa hasta que el adsorbedor D se ha puesto de nuevo bajo presión hasta alcanzar aproximadamente la presión del producto. La válvula de alimentación 1D y la válvula de producto 2D están, por supuesto, cerradas durante toda la duración de la recompresión.

Para llevar a la práctica la característica de control de capacidad de esta invención, se retira una muestra del gas del lecho en servicio, p.ej., del lecho A, a través de la sonda 70, y se analiza de modo continuo o intermitente en el analizador 71. Preferiblemente, la sonda 70 está localizada en el punto límite hasta el cual se permitirá el avance del frente de transferencia de masa antes de cambiar o conmutar a un lecho desorbido y puesto de nuevo bajo presión. Los análisis continuos o repetidos de la muestra de gas mostrarán una brusca elevación en el contenido de adsorbato cuando el frente alcanza la sonda, indicando así que el lecho está cargado hasta

387244

14 E



su capacidad admisible. El analizador 71 se selecciona de tal manera que sea adecuado para el componente a comprobar --que usualmente será el componente menos fuertemente adsorbible que haya de quedar retenido en el lecho--. Los
5 analizadores adecuados incluyen una célula de conductividad térmica para la detección de un frente de nitrógeno, argón o monóxido de carbono, y una unidad de ionización de llama para la detección de un frente de hidrocarburos. El analizador 71 debe estar adaptado para generar una se-
10 ñal de salida 72, p.ej., un impulso eléctrico, en el momento en que detecta el frente en la posición de la sonda.

El nivel de recompresión en otro lecho, p.ej., el lecho D, se comprueba independientemente por medio de la célula de presión diferencial 73. Este instrumento mide
15 el ΔP entre el conducto de la alimentación 11 y el gas de recompresión con velocidad de flujo ajustada en el conducto 65, por medio de las derivaciones de presión 74 y 75. Cuando el ΔP así medido desciende hasta un valor predeterminado, p.ej., 0,351-0,703 kg/cm², la célula de presión
20 diferencial 73 genera una señal 76, como por ejemplo, un impulso eléctrico.

La señal 72, que indica la terminación de la etapa de adsorción en el lecho A, y la señal 76, que indica la terminación de la etapa de recompresión de producto en
25 el lecho D, están ambas dirigidas hacia el instrumento 77. Este último, a su vez, produce una señal 18 utilizada para controlar el punto fijo de referencia de la restricción de flujo 19 (véase Figura 1 ó 3) en el conducto 13 del gas producido apartado que forma parte del sistema 14 de
30 control del caudal del gas apartado. El instrumento 77 es-



tá diseñado para generar una señal 18 de una intensidad que depende del intervalo de tiempo entre las apariciones de las señales 72 y 76. Si las últimas señales se reciben simultáneamente (el intervalo de tiempo es cero), en tales condiciones el ciclo está "compensado" y la señal de salida 18 permanecerá inalterada. Si se recibe primero la señal 72 del analizador, ello indica que la adsorción ha avanzado más que la recompresión, y el instrumento 77 alterará la señal 18 en el sentido de acelerar la velocidad de recompresión. Inversamente, si se recibe primero la señal de recompresión 76, ello es una indicación de que la recompresión ha progresado más rápidamente que la adsorción y el instrumento 77 alterará la señal 18 en el sentido opuesto, a fin de reducir la velocidad de recompresión. En una variedad del instrumento 77, la alteración de la señal 18 comienza al recibirse la primera señal y cesa al recibirse la segunda. Durante este período de alteración, la velocidad de cambio de la señal es uniforme, por lo que la corrección total de la señal refleja el grado de descompensación del ciclo. El instrumento 77 puede ser un generador de impulsos en rampa eléctrico o neumático accionado a motor comercialmente asequible, que altera su señal de salida en sentido de aumento o de disminución, proporcionalmente al intervalo de tiempo entre las señales de entrada, y que mantiene una señal de salida constante cuando el intervalo de tiempo es cero.

La ventaja de la realización de control de capacidad de la Figura 4 es que proporciona ajuste para cualquier variable o combinación de variables que afecten a la velocidad de adsorción relativa de un lecho adsorbente. Por

387244

14 ENE. 1971



ejemplo, un aumento en la velocidad de alimentación, un
aumento en la temperatura de la alimentación, una dismi-
nución en la presión de la alimentación, un aumento en el
contenido de adsorbato de la alimentación, o una pérdida
5 progresiva de actividad del adsorbente tenderán, cada uno
de ellos, a acelerar la velocidad de adsorción relativa.
Si el lecho adsorbente A se carga más rápidamente, el ana-
lizador 71 detectará el frente de adsorción más pronto, y
mediante la señal 18 enviada al sistema 14 de control de
10 caudal del gas apartado, se acelerará la velocidad del
gas de recompresión producido a través del conducto 65 y
de la válvula 6D al lecho D.

La Figura 5 ilustra un procedimiento particular
que implica una secuencia de seis etapas que se describe
15 en la Solicitud de Patente, asimismo pendiente, del autor de
la presente invención. Núm. (L-6988), y que puede
controlarse por medio de un sistema preferido de capacidad y
ciclo de flujos paralelos. Las etapas cíclicas repetidas
incluyen, sucesivamente: (1) poner en contacto una mezcla
20 de gas a la presión inicial superior con un primer lecho
para la adsorción selectiva de un componente como mínimo
y la descarga de gas producido empobrecido en un componen-
te (etapa de adsorción), (2) igualación de la presión has-
ta una segunda presión intermedia con un segundo lecho
25 previamente desorbido inicialmente a menor presión hacien-
do entrar gas del espacio vacío en el mismo (etapa de
igualación de presiones), (3) descompresión en paralelo
hasta una tercera presión menor de la intermedia haciendo
pasar gas adicional del espacio vacío desde el primer le-
30 cho a un tercer lecho como gas de purga (etapa de descom-



presión en paralelo), (4) descompresión en contracorriente hasta una presión mínima para la desorción parcial y la separación parcial del componente en cuestión (etapa de descompresión en contracorriente), (5) purga en contracorriente por el gas de la descompresión en paralelo procedente de un cuarto lecho a la presión mínima para la desorción y separación del resto del componente en cuestión (etapa de purga), y (6) recompresión en contracorriente del primer lecho desorbido a una presión mayor por introducción de gas del espacio vacío procedente del segundo lecho adsorbente y gas producido del tercer lecho adsorbente de tal manera que la última parte de la recompresión se efectúe sólo con el gas producido (etapa de recompresión). La última etapa viene seguida por la nueva puesta en contacto de la mezcla de gas de alimentación con los lechos cuarto, segundo y tercero que siguen sucesivamente al primer lecho en la adsorción y en la secuencia de etapas cíclicas sucesivas.

En la Figura 5, las corrientes que fluyen hacia el interior y el exterior del sistema de cuatro lechos se indican por líneas verticales que conectan el colector múltiple de alimentación 11, el colector múltiple del efluente de producto no adsorbido 12, y el colector múltiple de efluente de desorbato 12a. El colector múltiple de alimentación 10 está conectado verticalmente con todas y cada una de las cuatro etapas de desorción y éstas últimas, a su vez, están conectadas verticalmente con el colector múltiple de producto 12. Las etapas de descompresión y purga en contracorriente, durante las cuales el componente adsorbido se descarga de los lechos, están conectadas

387244

14 ENE 1954



verticalmente con el colector múltiple del efluente de desorbato, 12a. Las etapas de recompresión que aprovechan una porción del efluente de producto no adsorbido están conectadas verticalmente con el colector múltiple de producto 12. La utilización en el sistema del gas de descompresión en paralelo se indica por medio de líneas de flujo horizontales, de tal manera que cada etapa de igualación de presiones está conectada horizontalmente con una etapa de recompresión en otro lecho. Cada etapa de descompresión en paralelo está conectada horizontalmente con una etapa de purga en otro lecho. Todos los flujos de gas asociados con los cuatro lechos están identificados en la figura.

En este ciclo particular y en términos de cualquiera de los lechos individuales, la adsorción ocupa 1/4 del ciclo total, la igualación de presiones y la descompresión en paralelo ocupan también 1/4, la descompresión y purga en contracorriente otro 1/4, y la recompresión ocupa la cuarta parte restante.

Como se ilustra en la Figura 4, cuando el ΔP entre el gas de alimentación y el gas producido apartado de recompresión disminuye hasta un valor previamente determinado, detectado por la célula 73 de presión diferencial, ésta última genera una señal 78 que produce la serie de cambios en las válvulas necesarios para poner el cuarto lecho (lecho D) en la etapa de adsorción. Haciendo referencia a la Figura 5, se vé que la terminación de la etapa de recompresión (y la iniciación de la etapa de adsorción) en el lecho D (cuarto lecho) ocurre al cabo de 3 minutos de recompresión --una cuarta parte del ciclo de cuatro lechos--. La terminación de la recompresión se co-



responde también en el tiempo con los fenómenos adicionales siguientes que tienen lugar en los otros adsorbadores:

- Terminación de la adsorción y comienzo
de la igualación de presiones lecho A (primer lecho)
- 5 Terminación de la purga y comienzo de
la recompresión lecho B (segundo lecho)
- Terminación de la descompresión en pa-
ralelo y comienzo de la descompresión en
contracorriente lecho C (tercer lecho)

10 La señal 78 generada por la célula 73 de presión
diferencial puede utilizarse para producir cada uno de
los cuatro cambios de ciclo previamente enumerados, pero
no: 1) la terminación de la igualación de presiones y
comienzo de la descompresión en paralelo, ó 2) la termina-
15 ción de la descompresión en contracorriente y el comienzo
de la purga. Estos últimos cambios se producen sólo un
breve intervalo de tiempo después del acaecimiento de los
primeros cambios mencionados, p.ej., 30 segundos. Este in-
tervalo puede hacerse que sea un período de tiempo fijo-
20 sin detrimento de la eficiencia del ciclo, y se mide con-
venientemente por medio de un dispositivo de sincroniza-
ción.

Haciendo referencia a la Figura 4, se ilustra un
25 método adecuado de utilización de la señal 78 para produ-
cir los cambios de ciclos deseados incluyendo los cortos
intervalos de tiempo fijos arriba mencionados. La señal
78 se envía al circuito 93 de accionamiento de las válvu-
las, donde excita la bobina 85 de un relé y cierra de es-
te modo los contacto 86. Esto establece un circuito desde
30 una fuente de energía 86a hasta un motor 87 que acciona el

387244

14 ENZ



5 árbol de levas 88. El motor, junto con cualquier engranaje requerido, está diseñado para hacer girar el árbol de levas 1/4 de vuelta en el lapso de tiempo, como mínimo, que debe transcurrir entre los dos grupos de cambios de válvulas arriba citados, p.ej., 30 segundos.

10 A medida que comienza a girar el árbol de levas, la leva 89 cierra inmediatamente los contactos 90, estableciendo así un circuito con la válvula 2D, con lo cual se abre ésta. Están dispuestas las levas adicionales (p.ej., 89a) necesarias para accionar conmutadores (p.ej., 90a) para excitar o desexcitar otras válvulas que operan simultáneamente con la válvula 2D. Otra leva 91 cierra también los contactos 92, estableciendo un circuito en derivación alrededor de los contactos del relé 86, y comunicando así 15 energía al motor 87. Esto es necesario porque la señal 78 a la bobina 85 se interrumpirá tan pronto como se produzca la primera serie de cambios de válvulas, debido a la reconexión del colector múltiple de recompresión 65 a otro lecho a baja presión.

20 El motor y el árbol de levas continúan girando a lo largo del intervalo de tiempo necesario para la igualación de presiones y la descompresión en paralelo, después de lo cual todavía otras levas del árbol accionan conmutadores para efectuar el segundo grupo de cambios de válvulas arriba enumerado. Inmediatamente después de terminar 25 el segundo grupo de cambios de válvulas la leva 91 abre de nuevo los contactos 92 y hace que se pare el motor. El motor no se pone nuevamente en funcionamiento hasta que el ΔP detectado por la célula 73 de presión diferencial 30 desciende otra vez hasta el valor predeterminado, p.ej.,



0,351-0,703 kg/cm², y se repite la señal 78. Cuando se repite dicha señal, el motor hará que el árbol de levas gire hasta la siguiente cuarta parte de revolución, y un juego distinto de conmutadores de levas entrará en funcionamiento para efectuar los cambios de válvulas que tienen lugar en dicha cuarta parte del ciclo.

Se deducirá claramente de la Figura 5 y de las válvulas asociadas con los cambios de ciclo que puede funcionar simultáneamente cierto número de válvulas. Por ejemplo, la operación de la válvula 2D (tal como se ha descrito arriba) puede coincidir en el tiempo con la operación de las válvulas 1D, 3C y 6B. La totalidad de tales válvulas que funcionan al mismo tiempo pueden ser excitadas y des-excitadas por los mismos levas y conmutador, simplificándose así el mecanismo de accionamiento.

Será también evidente que el accionador de tipo de válvulas no dicta los intervalos de tiempo del ciclo, ya que permanece fuera de servicio durante una porción de cada cuarta parte del ciclo y reanuda la rotación solamente después que el procedimiento lo exige. El único intervalo de tiempo que controla dicho accionador es el lapso relativamente corto que transcurre entre el primer y el segundo grupo de cambios de válvulas que constituyen la conmutación total de un ciclo.

Debe observarse que la señal 78 se basa en la diferencia de presión entre el colector múltiple 11 del gas de alimentación y el colector múltiple 65 del gas de recompresión, y no en las presiones en el interior o en puntos adyacentes a los lechos adsorbentes particulares. Esta disposición tiene la ventaja de que un sólo transmi-

387244



5 sor 73 de ΔP puede atender a todos los lechos sin cambiar las derivaciones de presión 74 y 75 de un lecho a otro. No obstante, si se desea, las derivaciones de presión pueden cambiarse de un lecho a otro, y medios para efectuar tal operación, tales como un relé de acción sucesiva o un conmutador de válvula operado intermitentemente son bien conocidos por los expertos en la técnica.

10 Por medios similares, la sonda 70 que conduce la muestra de gas desde cada lecho al analizador 71 puede ser trasladada de un lecho a otro. El traslado puede llevarse a cabo fácilmente empleando válvulas accionadas eléctricamente que son excitadas consecutivamente por un relé de acción sucesiva, conmutadores de levas o dispositivos análogos.

15 Resumiendo el sistema de control de ciclo de las Figuras 4 y 5 tal como se ha descrito arriba, la señal de recompresión con el gas producido se utiliza para, simultáneamente: 1) terminar la recompresión del cuarto lecho y llevarlo de nuevo a la etapa de adsorción selectiva, 2) 20 terminar la etapa de descompresión en paralelo en el tercer lecho y comenzar la etapa de descompresión en corriente, 3) terminar la etapa de adsorción selectiva en el primer lecho y comenzar la etapa de igualación de presiones, y 4) terminar la etapa de purga en contracorriente en el 25 segundo lecho y comenzar la etapa de recompresión en contracorriente.

30 Se vé que tienen que producirse dos hechos de manera prácticamente simultánea: la terminación de la carga con adsorbato en un lecho y el final de la recompresión en otro lecho desorbido. En el sistema de control del ciclo



de la Figura 4, se genera independientemente una señal que identifica cada uno de estos hechos. Debido a su coincidencia a efectos prácticos en esta realización, cualquiera de las señales podría emplearse para conmutar los lechos en los puntos de conmutación del ciclo. Así pues, el uso de una señal 72a desde el lecho en servicio para este propósito es una alternativa al uso arriba descrito de la señal 78 procedente del lecho que se ha puesto nuevamente bajo presión, y el uso de la señal 72a en el circuito 93 de operación de las válvulas podría ser idéntico al de la señal 78.

Aunque es preferida la realización de cuatro lechos de la invención, se tiene también en cuenta un número mayor o más pequeño de lechos. El sistema de tres lechos de la Figura 6 y su programa de ciclo de la Figura 7 carecen de una parte de la flexibilidad y economía de los cuatro lechos, por el hecho de que la etapa de purga no coincide con una etapa de descompresión en ninguna otra parte del sistema. Así pues, el gas de descompresión en paralelo no está disponible para purgar otro lecho tal como se hacía en las Figuras 4 y 5. En su lugar, la realización de las Figuras 6 y 7 emplea gas producido para la purga. La etapa de purga tiene lugar intermitentemente y coincide con la fase terminal sólo de una etapa de recompresión. En el ciclo ilustrativo de 18 minutos de la Figura 7, la etapa de purga de 4 minutos del lecho A (entre los minutos 8º y 12º del ciclo) coincide con los 4 últimos minutos de la etapa de recompresión del lecho B y la etapa de adsorción del lecho C. Durante este período, una primera parte del gas producido apartado del extremo de descarga

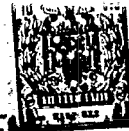
38724414 ENE



del lecho C se hace volver al extremo de descarga del lecho A para la purga del mismo.

En las realizaciones previamente descritas, la porción apartada del gas producido se utilizaba en el sistema solamente para una finalidad --la recompresión de un lecho previamente desorbido--. En estas condiciones, tanto el flujo de gas de recompresión como el de gas producido apartado pueden mantenerse constantes. En la realización de tres lechos, el gas producido apartado se emplea en el sistema para dos propósitos. Una primera parte de esta corriente de gas fluye continuamente se hace volver intermitentemente al procedimiento como gas de purga para un lecho descomprimido a una presión más baja. De acuerdo con esto, el flujo de la parte restante del gas producido apartado a utilizar para la recompresión de otro lecho no puede mantenerse uniforme en todo momento sin una amplia fluctuación del caudal del gas producido apartado total.

Para evitar desajustes de flujo y de presión en el conducto 15 del producto, el sistema de la Figura 6 mantiene constante la suma del gas de recompresión y el gas de purga (comprendiendo la porción del gas producido apartado). El producto apartado total se suministra a través del conducto 13 y de la restricción variable 19 que se ilustra en la figura como una válvula de control. Una primera parte se desvía por la ramificación del conducto 80 y se ramifica como gas de purga a los lechos que se encuentran a baja presión a través de las válvulas 5A, 5B ó 5C. Las válvulas de descarga de purga automáticas 3A, 3B y 3C que están conectadas al colector múltiple 50 de



gas residual operan intermitentemente y pueden por ejemplo estar abiertas sólo durante 4 minutos de un ciclo de 18 minutos. Cuando una de estas válvulas está abierta, el flujo de gas de purga se mantiene constante a una velocidad predeterminada, como por ejemplo mediante el regulador de flujo 81 que se encuentra en serie con el diafragma de flujo crítico 82. El caudal a través del diafragma 82 depende únicamente de su presión aguas arriba, la cual se mantiene constante gracias al regulador 81.

10 Cuando pasa gas de purga por el conducto 80, el regulador 26 situado aguas abajo reduce inmediatamente el flujo del gas de recompresión para restablecer el flujo total constante a través del limitador 19 de flujo del gas apartado. De este modo, el flujo de gas de recompresión se reduce durante la etapa de purga en una cantidad igual al flujo del gas de purga. El regulador 81 debe ajustarse de tal manera que se mantenga el caudal de purga que suministrará el volumen total de gas de purga necesario para barrer cada lecho dentro del período de tiempo permitido para la purga (p.ej., 4 minutos).

20 El empleo de una porción del gas apartado total para la purga no desajustará necesariamente la proporcionalidad entre la velocidad de flujo del gas de recompresión y la velocidad de adsorción relativa. Por tanto, la operación sucesiva de las válvulas puede controlarse todavía por la presión de recompresión. No obstante, puede ser necesario tomar una especial precaución para mantener la cantidad total de purga constante durante cada ciclo --y por consiguiente, para mantener constante el período de purga--.

30 No se obtendría un período de purga constante en caso de

387244

14 ENE 1970



que la purga y la recompresión terminasen simultáneamente (p.ej., Figura 7), debido a que el periodo de purga se acorta o se alarga de acuerdo con los cambios en la velocidad de adsorción relativa. Resultará evidente para los
5 expertos en la técnica que pueden incorporarse fácilmente medios para mantener un periodo de purga fijo en un sistema de accionamiento de válvulas tal como el sistema 93 de la Figura 4. Por ejemplo, la duración del funcionamiento del motor necesita prolongarse sólo para cubrir el período de purga deseado, de tal manera que el periodo de purga será terminado, de igual modo que es iniciado, por el
10 conmutador de levas.

Otra característica distintiva de la realización de la Figura 6 es la detección de la velocidad de flujo del gas producido (por el diafragma 16) como variable
15 representativa de la velocidad de adsorción relativa. Los elementos que establecen la comunicación entre el diafragma 16 y la válvula de control 19 son análogos a los que se han descrito previamente en relación con la detección del gas de alimentación en la Figura 1.
20

El control del ciclo se consigue en el sistema de la Figura 6 de una manera similar a la que se ha mostrado en la Figura 4. El transmisor 73 de ΔP está conectado de tal manera que compara la presión del lecho que está siendo sometido a la recompresión con una presión que corresponde esencialmente a la presión de alimentación. En la
25 Figura 4, el transmisor de ΔP está conectado entre el colector múltiple de la alimentación 11 y el colector múltiple de recompresión 65. Alternativamente, en la Fig.
30 6, el transmisor 73 de ΔP está conectado al colector



múltiple de producto 12 por la derivación de presión 94, y al colector múltiple de recompresión 65 por la derivación de presión 75 siendo la presión del producto esencialmente igual a la presión de la alimentación.

5 La señal 78 generada por el transmisor 73 de Δ P indica la terminación de la recompresión y se transmite a un circuito de accionamiento de válvulas 93 similar al circuito de la Figura 4. Por esta razón, el circuito 93 de la Figura 6 se ha representado por un rectángulo para
10 evitar la duplicación de la Figura 4. La energía para el accionamiento de las diversas válvulas automáticas se suministra en el orden apropiado a través de los conmutadores de levas, p. ej., mediante la conexión 95a a la válvula 6C.

15 En una realización preferida de esta invención, se emplea un sistema de cuatro lechos como el descrito e ilustrado en la Figura 4, pero con el dispositivo de detección de la velocidad de adsorción relativa de la Figura 1 y la programación de cíclica de la Figura 5. Este sistema es especialmente ventajoso para la recuperación de hidrógeno a partir de diversas corrientes de origen y para suministrar un producto hidrógeno de pureza ultra-elevada. Por ejemplo, este sistema realizó satisfactoriamente la separación que se muestra en la Tabla I. con 76,5% de recuperación de hidrógeno cuando se condujo a una presión de
20 alimentación de 13,7 kg/cm², a 21,1°C y conforme a un ciclo de 32 minutos que por lo demás era similar al de la Figura 5. El caudal del gas de alimentación era de 987 m³/hr. y la velocidad de flujo del gas producto apartado
25 era de 209 m³/hr., utilizándose la totalidad de éste último
30

387244

14

ENTRADA



para la recompresión en contracorriente de los lechos de adsorción desorbidos. En estas condiciones, la relación de velocidad de adsorción relativa, esto es, del caudal del gas de alimentación, al caudal de retorno del gas apartado, era de 4,62. En este sistema particular, cada lecho adsorbente comprendía una primera sección de carbón activo para separar selectivamente agua y CO₂, y una segunda sección de zeolita cálcica A para separar selectivamente CO y CH₄.

10

TABLA I

	<u>Alimentación</u>	<u>Producto</u>
H ₂	77,1%	99,9999 + %
CH ₄	0,013%	No detectable (< 1/2 ppm)
15 CO	0,35%	No detectable (< 1/4 ppm)
CO ₂	22,5%	No detectable (< 1/4 ppm)
H ₂ O	Saturada	Seco; punto de rócio < -73°C

En otra realización de cuatro lechos en que se emplea el sistema de control de capacidad de la Figura 1, el sistema de control del ciclo de la Figura 4 y las etapas del ciclo de la Figura 5, el gas de alimentación puede estar constituido por un 99,7% de H₂ aproximadamente y 0,3% de hidrocarburos alifáticos saturados ligeros, estando saturado con agua en las condiciones de la alimentación, y suministrándose a un caudal de 297 m³/hr. El producto puede contener 99,9999% de H₂, y 70,2 m³/hr. podrían apartarse para su retorno al sistema como gas de recompresión. En estas condiciones, la relación de la velocidad de adsorción relativa al caudal de retorno del

30



gas apartado sería de 4,24.

La presente solicitud, que corresponde a la presentada en los Estados Unidos de América el 7 de Mayo de 1968 bajo el Nº 727.307, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

REIVINDICACIONES

Los puntos de invención propia y nueva, que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes: .

- 1.- Un aparato para separar continuamente una mezcla gaseosa de alimentación por adsorción selectiva de un componente como mínimo a una presión superior y desorción a una presión inferior, caracterizado por:
- a) tres lechos adsorbentes como mínimo con conductos de intercomunicación y válvulas asociadas para introducción consecutiva de dicha mezcla gaseosa de alimentación en un extremo de dicho lecho como etapa de adsorción a la presión inicial superior con descarga del gas producido empobrecido en un componente por el otro extremo del lecho, descompresión a una segunda presión más baja para la desorción, y recompresión al menos parcial del lecho desorbido por dicho gas producido, seguida por nueva puesta en contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación; b) medios para detectar la velocidad de adsorción relativa

387244

14 ENE




en cada uno de los lechos de adsorción cuando se ponen en contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación; c) medios de conducción para, simultáneamente, apartar una porción del gas producido descargado de cada lecho de adsorción cuando se pone en contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación y hacer volver al menos una parte de la porción de gas producido apartada a un lecho de adsorción desorbido para la recompresión del mismo; d) medios de control del flujo en el conducto c) de apartamiento del gas producido; y e) medios para la transmisión de señales desde dichos medios de detección b) de la velocidad de adsorción relativa hasta dichos medios de control del flujo d) para hacer ajustes a fin de mantener una relación constante predeterminada de la velocidad de adsorción relativa al caudal de retorno del gas producido apartado.

2.- Un aparato para separar continuamente una mezcla gaseosa de alimentación por adsorción selectiva de un componente como mínimo a una presión superior y desorción a una presión inferior, caracterizado por: a) tres lechos adsorbentes como mínimo con conductos de intercomunicación y válvulas asociadas para la introducción consecutiva de dicha mezcla gaseosa de alimentación en un extremo de cada lecho como etapa de adsorción a una presión inicial superior, con descarga del gas producido empobrecido en un componente por el otro extremo del lecho, descompresión a una segunda presión más baja para la desorción y recompresión al menos parcial del lecho desorbido por dicho gas producido, seguida por nueva puesta en contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación; b) medios para detectar la velocidad de adsorción relativa en



5 cada uno de los lechos de adsorción cuando se ponen en
contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación; c)
medios de conducción para, simultáneamente, apartar una
porción del gas producido descargado de cada lecho de ad-
10 sorción cuando se pone en contacto con dicha mezcla gaseo-
sa de alimentación y hacer volver al menos una parte de
la porción del gas producido apartada a un lecho de adsor-
ción desorbido para la recompresión del mismo; d) medios
de control del flujo en el conducto c) de apartamiento del
15 gas producido; e) medios para la transmisión de señales
desde dichos medios de detección b) de la velocidad de ad-
sorción relativa hasta dichos medios de control del flujo
para hacer ajustes a fin de mantener una relación constan-
te predeterminada de la velocidad de adsorción relativa al
caudal de retorno del gas producido apartado; f) medios
20 para detectar la presión de recompresión del gas producido
entre los medios de control del flujo d) y dicho extremo
de los lechos adsorbentes citado en primer lugar; g) me-
dios para el mantenimiento de la secuencia de flujos del
ciclo asociados con dichos conductos y válvulas de inter-
comunicación a) para iniciar los cambios de etapa entre
los lechos adsorbentes; y h) medios para la transmisión
de señales desde los medios de detección f) de la presión
de recompresión del gas producido hasta los medios g) para
25 el mantenimiento de la secuencia de flujos del ciclo
cuando el gas de recompresión se eleva hasta un valor pre-
determinado para, simultáneamente: 1) terminar la recom-
presión de cada lecho y hacer volver el mismo a la etapa
de adsorción; y 2) iniciar los cambios de etapa en los
30 otros lechos.



11.1.71

387244 14 ENE 1971



3.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2 en el cual los medios f) de detección de la presión de recompresión del gas producido comprenden una célula adaptada para detectar la diferencia de presión entre el gas de recompresión y la mezcla gaseosa de alimentación, y
5 generar una señal cuando dicha presión desciende hasta alcanzar un valor predeterminado.

4.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2 en el cual dichos medios d) de control del flujo comprenden una restricción del flujo, medios para detectar la presión diferencial a través de la restricción del flujo, un regulador de flujo aguas abajo de dicha restricción del flujo, medios para convertir dicha presión diferencial en una señal, y medios para transmitir la señal a dicho regulador del flujo para el ajuste de éste.
10
15

5.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2 en el cual los medios b) de detección de la velocidad de adsorción relativa comprenden un diafragma y medios para detectar la presión diferencial a través del diafragma, y los medios e) para la transmisión de la señal incluyen un convertidor lineal.
20

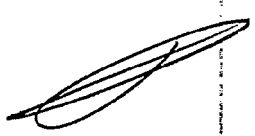
6.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual dichos medios d) de control del flujo comprenden un primer diafragma, medios para detectar la presión diferencial del gas producido apartado a través del primer diafragma, medios para convertir dicha presión diferencial en una señal, un controlador de la relación de flujos adaptado para generar una señal representativa de la variación con respecto a una relación predeterminada de la velocidad de adsorción relativa al caudal de retorno
25
30



del gas apartado, medios para transmitir la señal de la presión diferencial del gas producido apartado a dicho controlador de la relación de flujos; y en el cual los medios de detección b) de la velocidad de adsorción relativa comprenden un segundo diafragma, medios para detectar la presión diferencial a través del segundo diafragma, y medios para convertir dicha presión diferencial en una señal que se transmite a dicho controlador de la relación de flujo por los medios e); un regulador en dicho conducto c) de apartamiento del gas producido aguas abajo de dicho primer diafragma, y medios para transmitir dicha señal desde dicho controlador de la relación de flujos hasta dicho regulador para ajustes del flujo en respuesta a variaciones con respecto a la relación de caudales predeterminada.

7.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual dichos medios d) de control del flujo comprenden una válvula ajustable, los medios e) de transmisión de la señal proporcionan el ajuste de la misma, y está dispuesto un regulador en el conducto c) de apartamiento del gas producido aguas abajo de dicha válvula ajustable para mantener una presión constante predeterminada en dicho conducto c) entre dicha válvula ajustable y dicho regulador.

8.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2 en el cual los medios f) de detección de la presión de recompresión del gas producido comprenden una célula adaptada para detectar la diferencia de presión entre el gas de recompresión y el gas producido, y generar una señal cuando dicha diferencia de presión desciende hasta alcan-



12.1.71

387244 14 ENE 1971



zar un valor predeterminado.

9.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el cual dicha restricción de flujo es del tipo variable, dichos medios d) de control del flujo comprenden también un conducto de gas de purga conectado por un extremo a dicho conducto c) de apartamiento del gas producido entre la restricción de flujo variable y dicho regulador de flujo y conectado por el otro extremo a dichos lechos de adsorción para el paso sucesivo intermitente de una primera parte del gas producido apartado a los mismos para purgarlos, medios de control de flujo en dicho conducto de gas de purga para mantener el caudal del gas de purga constante durante los periodos de flujo intermitente, y un modificador de señal en los medios de transmisión de la señal a dicha restricción de flujo variable que añade un valor adicional constante a la señal que es representativo del flujo total de gas de purga ponderado para la duración total del ciclo para dichos lechos de adsorción.

10.- Un aparato para separar continuamente una mezcla gaseosa de alimentación por adsorción selectiva de un componente como mínimo a una presión superior y desorción a una presión inferior, caracterizado por: a) tres lechos adsorbentes como mínimo, con conductos de intercomunicación y válvulas asociadas para la introducción sucesiva de dicha mezcla gaseosa de alimentación por un extremo de cada lecho como etapa de adsorción a la presión inicial superior, con descarga del gas producido empobrecido en un componente por el otro extremo del lecho, descompresión a una segunda presión inferior para la desor-

12.1.71



ción, y recompresión al menos parcial del lecho desorbido por dicho gas producido seguida por nueva puesta en contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación; b) medios para detectar el frente de adsorción de transferencia de masa en cada uno de los lechos de adsorción cuando se ponen en contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación, y medios para la transmisión de señales a partir de dicha detección; c) medios de conducción para, simultáneamente, apartar una porción del gas producido descargado de cada lecho de adsorción cuando se pone en contacto con dicha mezcla gaseosa de alimentación y retornar al menos una parte de la porción apartada del gas producido a un lecho, de adsorción desorbido para la recompresión del mismo; d) medios de control del flujo en el conducto c) de apartamiento del gas producido; e) medios para la detección de la presión de recompresión del gas producido entre los medios d) de control del flujo y dicho extremo de los lechos de adsorción citado en primer lugar, y medios para la transmisión de señales desde dicha detección; f) medios para comparar las señales transmitidas desde el frente de adsorción b) de transferencia de masa y desde la presión e) de recompresión del gas producido, y generar una señal de comparación; g) medios para transmitir dicha señal de comparación de f) a dichos medios de control del flujo d) a fin de hacer ajustes para mantener una relación constante predeterminada de la velocidad de adsorción relativa al caudal de retorno del gas producido apartado; h) medios para el mantenimiento de la secuencia de flujos del ciclo, asociados con dichos conductos y válvulas de intercomunicación a) para la iniciación de las etapas de cambio entre

387244
14 ENE 1971



los lechos adsorbentes; e i) medios para la transmisión de señales desde los medios b) de detección del frente de adsorción de transferencia de masa hasta los medios h) para el mantenimiento de la secuencia de flujos del ciclo cuando la pureza del gas alcanza un valor predeterminado para, simultáneamente: 1) terminar la recompresión de cada lecho y poner de nuevo el mismo en la etapa de adsorción, y 2) iniciar los cambios de etapa en los otros lechos.

11.- Un aparato para separar continuamente una mezcla gaseosa de alimentación por adsorción selectiva de un componente como mínimo a una presión superior y desorción a una presión inferior, caracterizado por: a) cuatro lechos de adsorción que tienen espacios vacíos entre las partículas adyacentes de adsorbente con conductos de intercomunicación y válvulas asociadas para la introducción sucesiva de dicha mezcla gaseosa de alimentación en un extremo de un primer lecho como etapa de adsorción a una primera presión superior con descarga del gas producido empobrecido en un componente desde el otro extremo del lecho, igualación de presiones hasta un segundo lecho previamente desorbido que se encuentra inicialmente a una presión inferior mediante el paso de gas del espacio vacío al mismo, descompresión en paralelo a una tercera presión menor de la intermedia mediante el paso de gas adicional del espacio vacío desde dicho primer lecho a un tercer lecho como gas de purga, descompresión en contracorriente a una presión mínima para la desorción parcial y la separación parcial de dicho componente, purga en contracorriente por medio del gas de la descompresión en paralelo procedente de un cuarto lecho a dicha presión mí-

12.1.71

387244

14 FEB 1971



nima para la desorción y separación del resto del compo-
nente en cuestión, y recompresión en contracorriente del
primer lecho desorbido a una presión mayor por introduc-
ción de gas del espacio vacío procedente de dicho segundo
5 lecho adsorbente y gas producido procedente de un tercer
lecho adsorbente tal que la última parte de la recompre-
sión se efectúa sólo con dicho gas producido, seguida por
una nueva puesta en contacto de dicha mezcla gaseosa de
alimentación con los lechos cuarto, segundo y tercero
10 que siguen sucesivamente al primer lecho en la secuencia
de adsorción y etapas sucesivas del ciclo; b) medios para
la detección de la velocidad de carga del gas de alimen-
tación al primer lecho adsorbente durante la etapa de ad-
sorción selectiva; c) medios de conducción para, simultá-
15 neamente, apartar una porción de dicho gas producido pro-
cedente de dicho primer lecho adsorbente y retornar el gas
producido apartado al cuarto lecho adsorbente desorbido
para la recompresión del mismo; d) medios de control del
flujo en el conducto c) de apartamiento del gas produci-
20 do; e) medios para la transmisión de señales desde los
medios b) de detección de la velocidad de carga del gas
de alimentación hasta dichos medios d) de control del flu-
jo con el fin de hacer ajustes para mantener una relación
constante predeterminada de la velocidad de carga del gas
25 de alimentación a la velocidad de retorno del gas produci-
do apartado; f) medios para la detección de la presión de
recompresión del gas producido entre los medios d) de con-
trol del flujo y un extremo del lecho que está siendo so-
metido a la recompresión en contracorriente; g) medios pa-
30 ra el mantenimiento de la secuencia de flujos del ciclo asó-

12.1.71

387244

14 ENE 1972



ciados con dichos conductos y válvulas de intercomunica-
ción a) para iniciar los cambios de etapa entre los lechos
adsorbentes; y h) medios para transmitir señales desde
los medios f) de detección de la presión de recompresión
5 del gas producido hasta los medios g) para el mantenimien-
to de la secuencia de flujos del ciclo cuando el gas de re-
compresión se eleva hasta un valor predeterminado para,
simultáneamente; l) terminar la recompresión de cada le-
cho y hacer volver el mismo a la etapa de adsorción, y
10 2) iniciar los cambios de etapa en los otros lechos.

12.- Un aparato para separar continuamente una
mezcla gaseosa de alimentación.

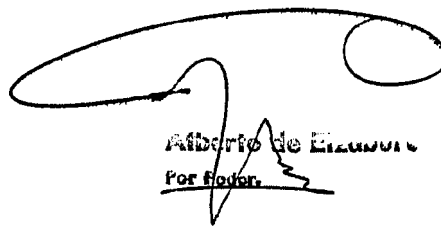
Tal y como se ha descrito en la Memoria que an-
tecede, representado en el dibujo que se acompaña y con
15 los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de cuarenta y siete hojas
escritas a máquina por una sólo cara.

Madrid,

14 ENE 1972

P. A.



Alberto de Elizola
Por favor.

12.1.71

BPD/.

387244

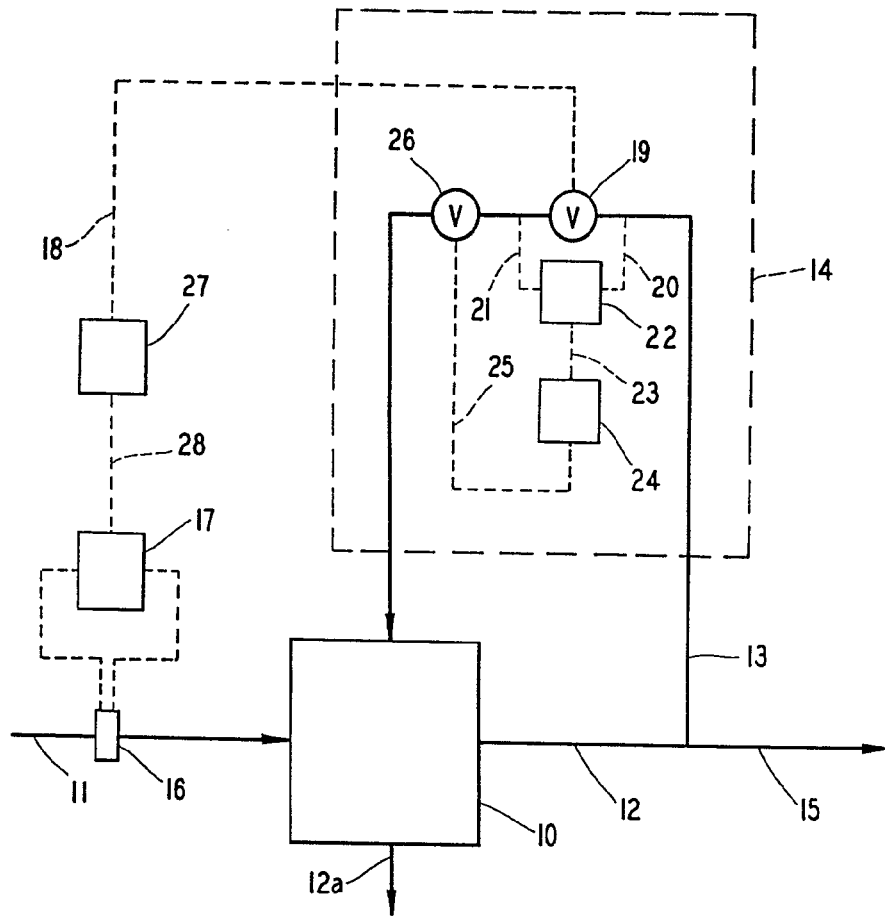


FIG. 1.

Alison M.
For Region

146721

387244

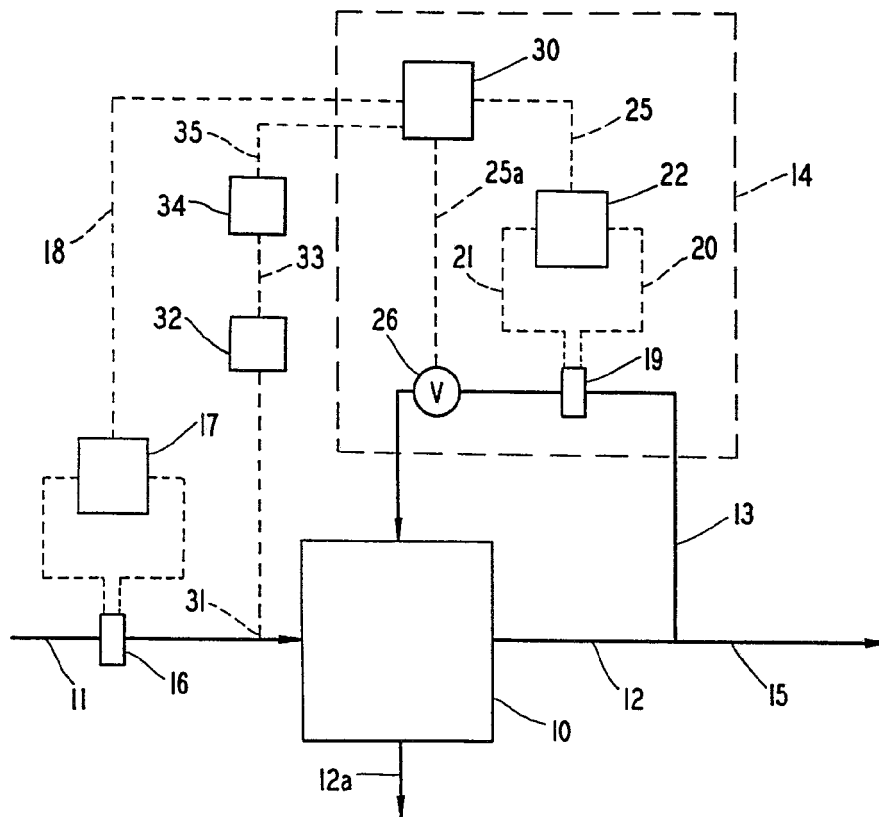


FIG. 2.

Handwritten signature and scribbles.

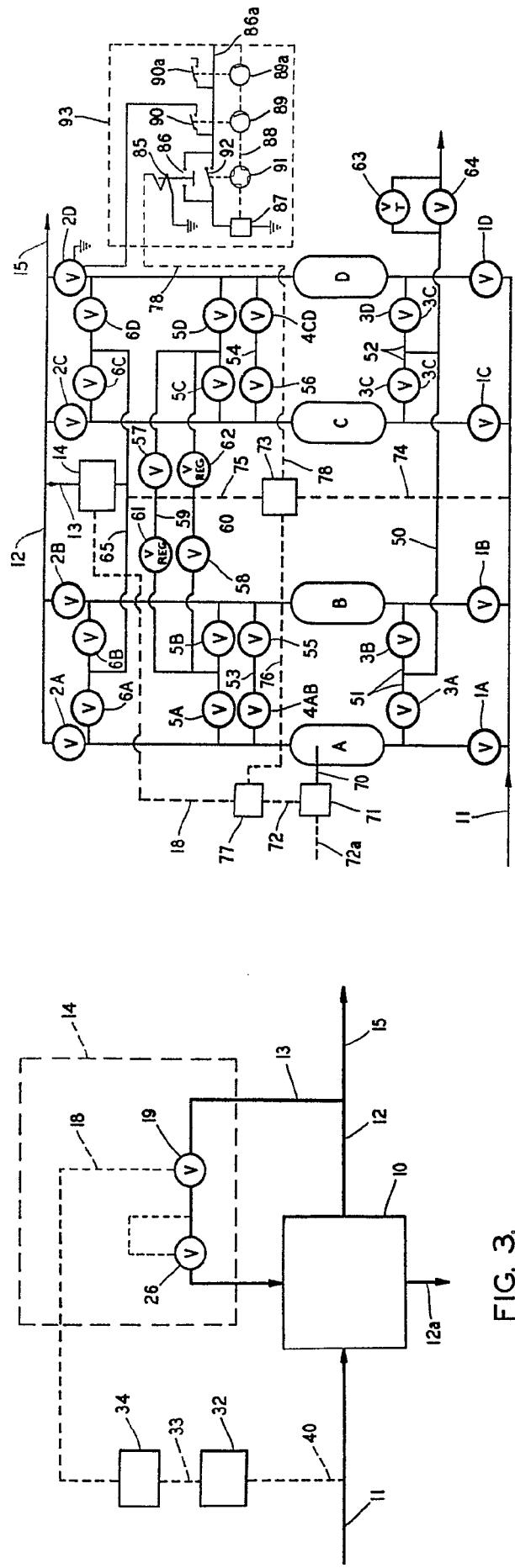


FIG. 3.

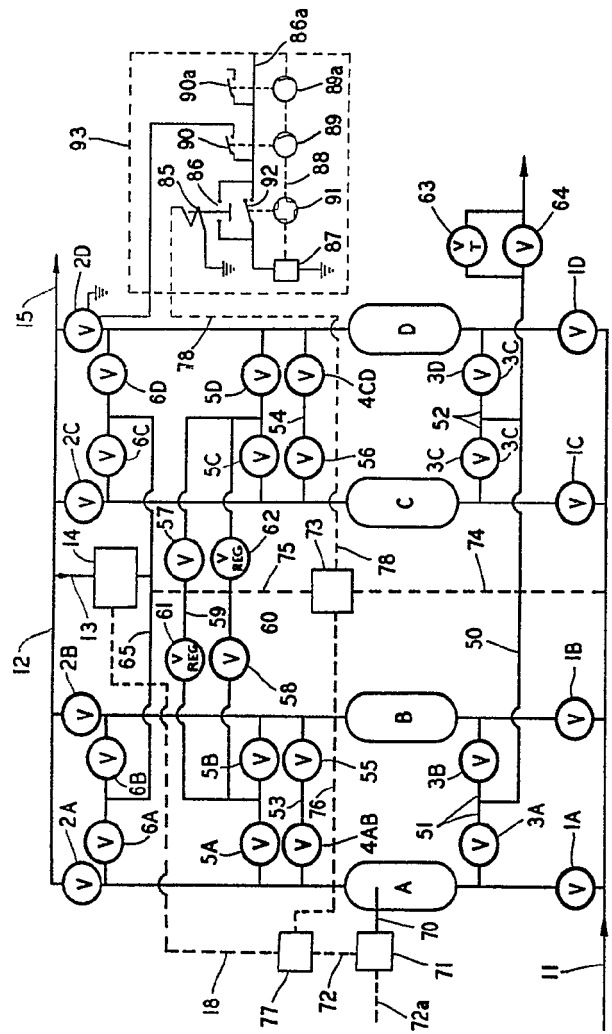


FIG. 4.

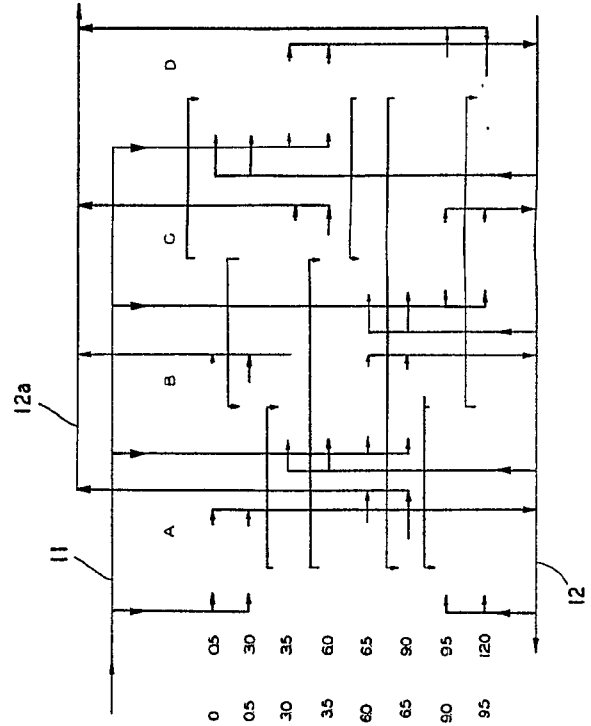
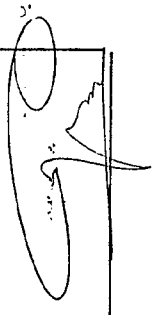


FIG. 5.



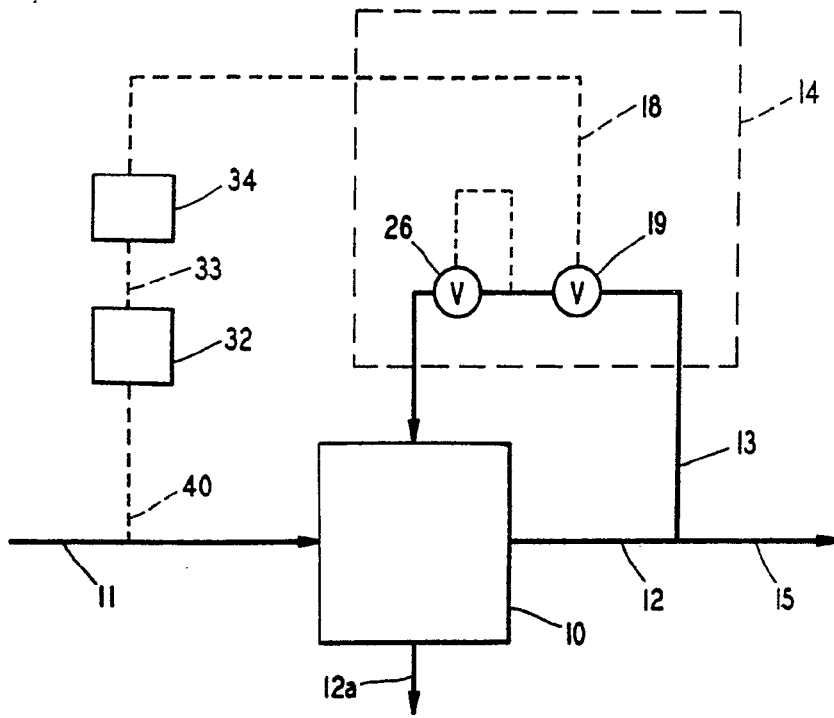
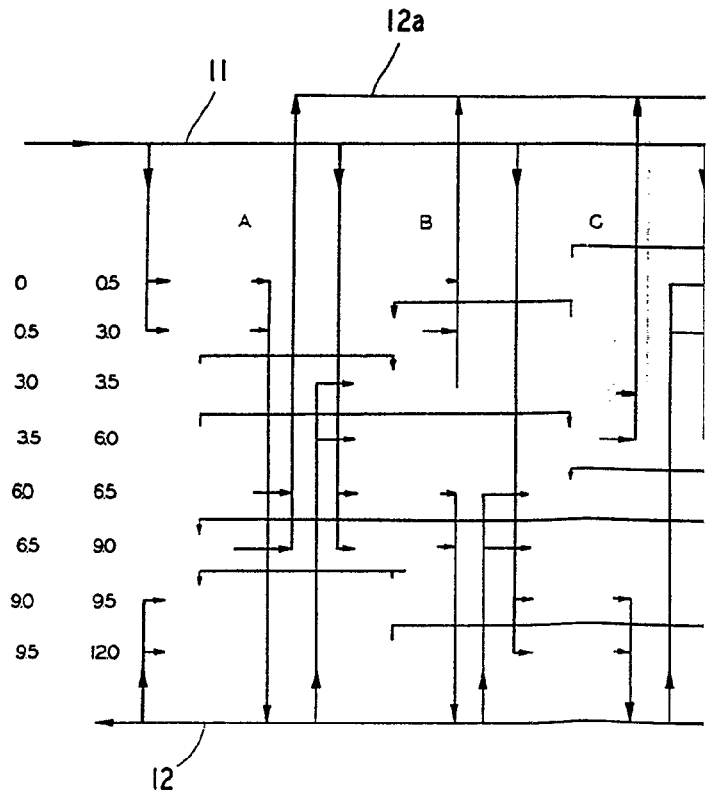
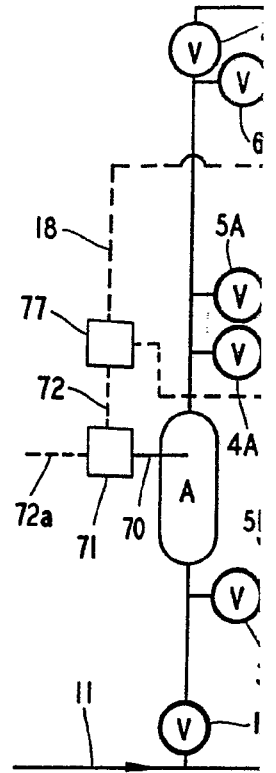


FIG. 3.



587244

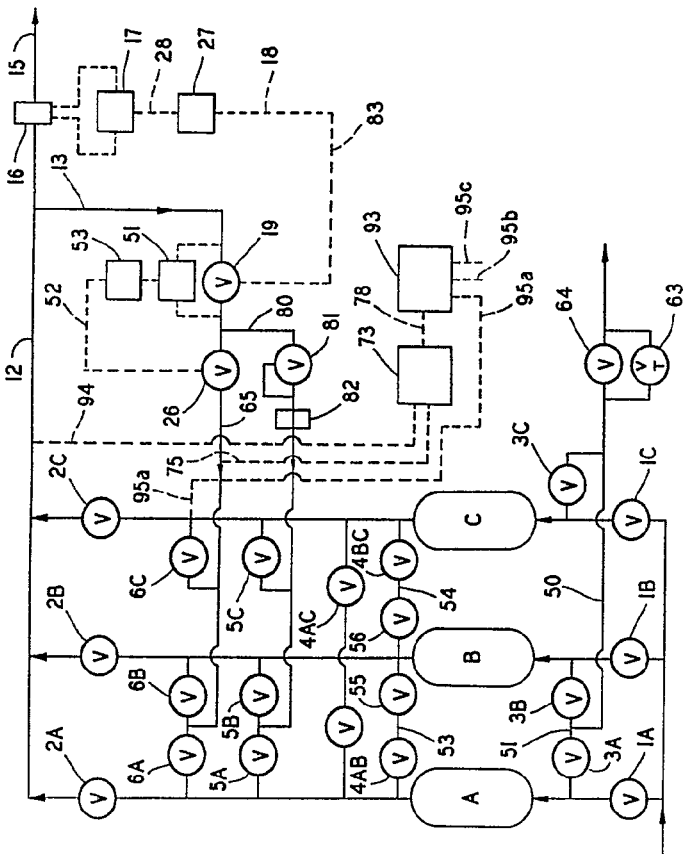


FIG. 6.

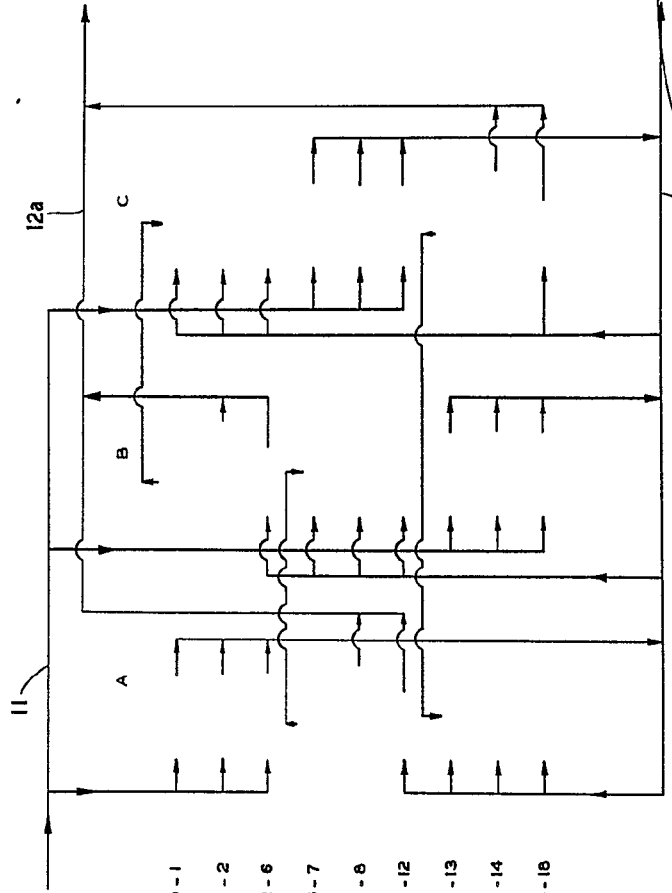


FIG. 7.

- 0-1
- 1-2
- 2-6
- 6-7
- 7-8
- 8-12
- 12-13
- 13-14
- 14-15

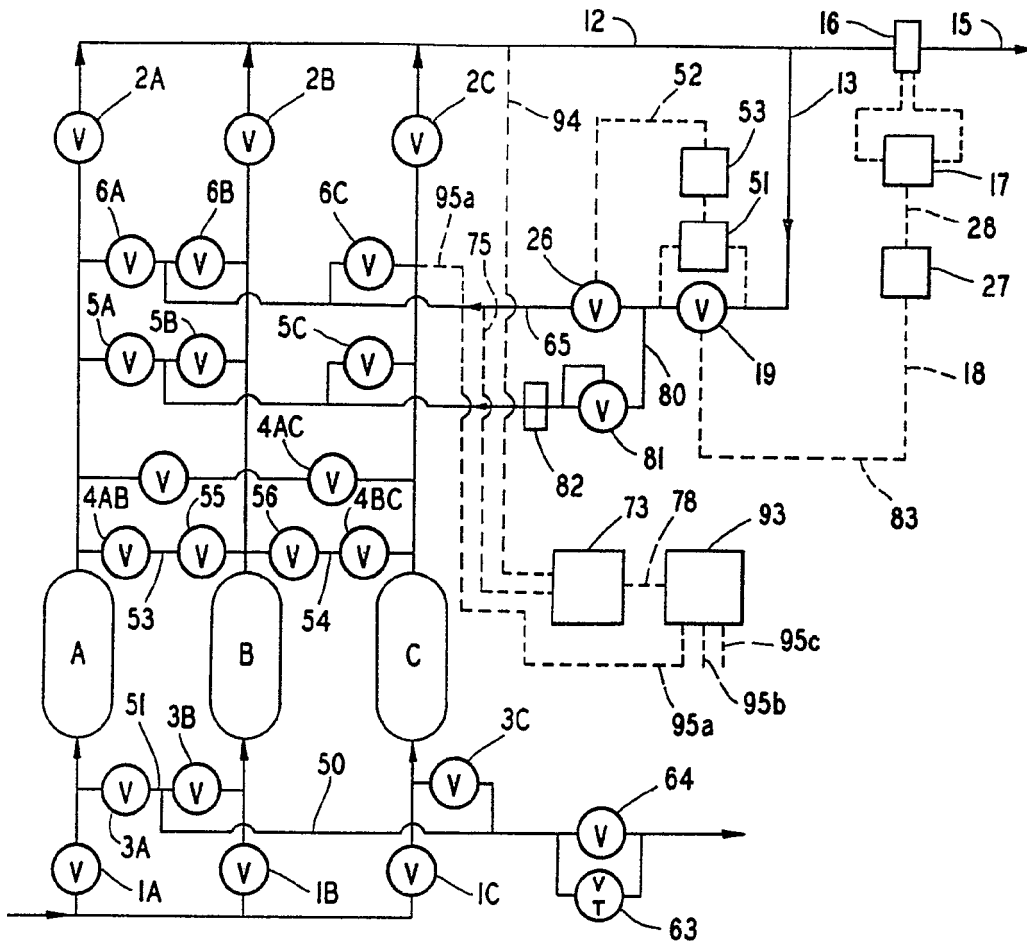


FIG. 6

FIG. 7.

- 0 - 1
- 1 - 2
- 2 - 6
- 6 - 7
- 7 - 8
- 8 - 12
- 12 - 13
- 13 - 14
- 14 - 18

387244

5

FIG. 6.

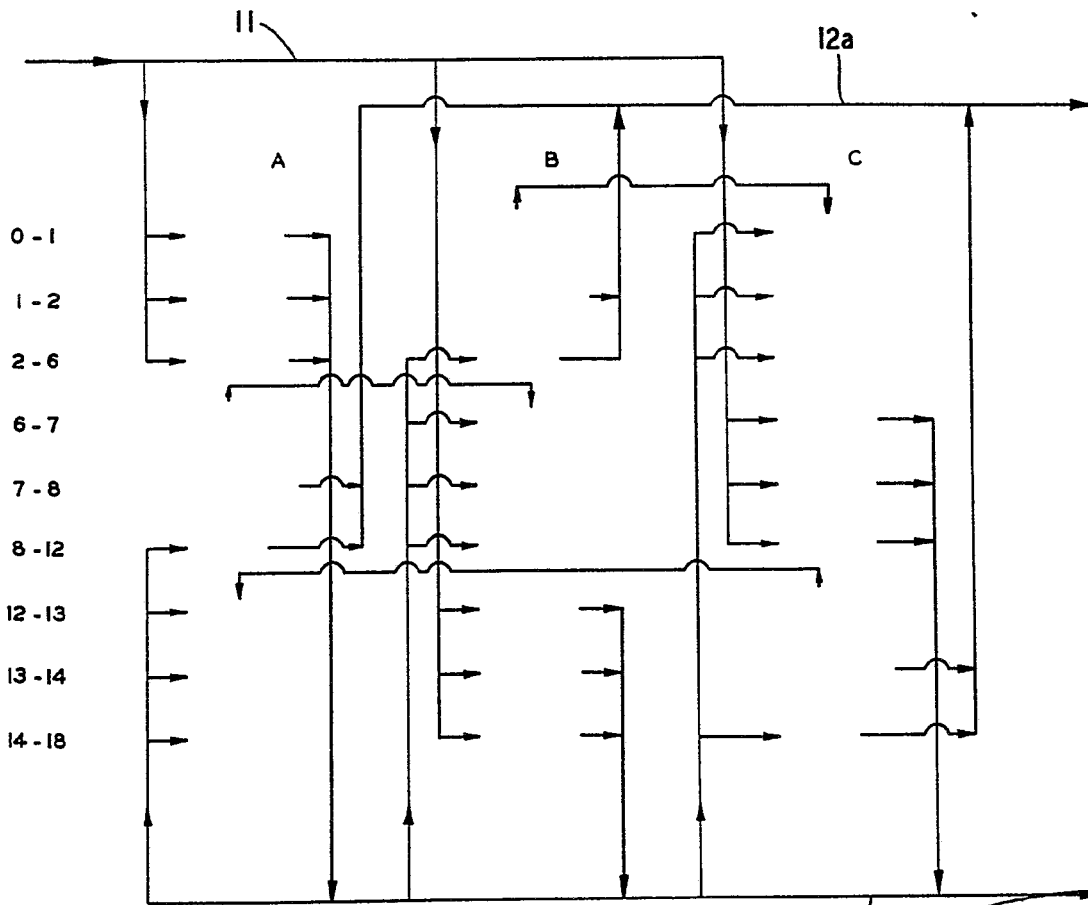
17

28

27

18

FIG. 7.



12

Handwritten signature and scribbles