

410887

P.- 53.145

L-83 14 - 1 - SP



F.E. 5-3-75

Int. Cl.:

BOLD

MEMORIA DESCRIPTIVA

para solicitar 1^{er}. CERTIFICADO DE ADICION

A nombre de UNION CARBIDE CORPORATION

entidad norteamericana

establecida en 270 Park Avenue, Nueva York, N.Y.
10017, Estados Unidos de América.

por: Mejoras introducidas en el objeto de la Patente
Principal nº 396.496, solicitada el 29 de Octubre
de 1.971, por: "UN PROCEDIMIENTO ADIABATICO PARA
SEPARAR MEZCLAS DE GASES A PRESION SUPERATMOSFE-
RICA"

(Clase Internacional Bold)

11,3.73

- 1 -

410887

2:



La presente invención se refiere a un procedimiento para separar el aire mediante adsorción por oscilaciones adiabáticas de presión.

En los procedimientos ya conocidos para la separación del aire por oscilaciones adiabáticas de presión, la secuencia del ciclo suele incluir una etapa de adsorción selectiva durante la cual se introduce el aire comprimido por la extremidad de entrada o admisión del lecho de adsorbente para así formar un frente de adsorción de nitrógeno, siendo el nitrógeno selectivamente adsorbido por la mayoría de los adsorbentes como, por ejemplo, los tamices moleculares zeolíticos. También el oxígeno es coadsorbido, pero esencialmente desplazado por el adsorbato de nitrógeno, más fuertemente retenido. Por la extremidad de salida o descarga del lecho sale como efluente el gas oxígeno, aproximadamente a la presión del aire de alimentación, y el frente de adsorción de nitrógeno se mueve progresivamente hacia la extremidad de salida. La etapa de adsorción da fin cuando el frente se halla en una posición intermedia entre las extremidades de entrada y de salida, y el lecho es descomprimido a favor de corriente, liberándose el efluente de oxígeno por la extremidad de salida y entrando el frente de adsorción de nitrógeno en el tramo, previamente descargado, más próximo a la extremidad de salida. El gas de descompresión

11.3.73

410887



a favor de corriente puede en parte descargarse como producto de oxígeno, y en parte ser devuelto a otros lechos de adsorbente para una diversidad de fines como, por ejemplo, los de purgar y equilibrar la presión con un lecho purgado para su recompresión parcial. La descompresión a favor de corriente se termina antes de que el frente llegue a la extremidad de salida o descarga, para que la pureza de oxígeno del efluente sea casi la del gas descargado durante la etapa de adsorción precedente, tal como se describe con mayor detalle, por ejemplo, en la patente de Kiyonaga (EE.UU., nº. 3.176.444).

El lecho descomprimido a favor de corriente se suele descomprimir adicionalmente, liberando para ello el gas residual o de desecho por la extremidad de entrada, esto es, se descomprime en contracorriente, hasta que la presión del lecho se reduce a un bajo nivel conveniente para purgar. A continuación se hace pasar por el lecho un gas de purga (oxígeno), para desorber el adsorbato de nitrógeno y llevárselo fuera del sistema. El lecho purgado y limpio al menos en parte se recomprime a continuación, por lo menos parcialmente, con oxígeno y/o aire de alimentación, y se devuelve a la etapa de adsorción. En la patente de Wagner (EE.UU., nº. 3.430.418) se describe un procedimiento de éstos, que requiere por lo menos cuatro lechos de adsorbente dis

11.3.73

410887

24



puestos con circulación en paralelo. El sistema de Wagner es capaz de recuperar alrededor del 36% del oxígeno introducido en el aire de alimentación, con una pureza aproximada de 95 moles %.

5 Es objeto de la presente invención un procedimiento mejorado de separar el aire por oscilaciones adiabáticas de presión, que permite obtener recuperaciones de oxígeno mayores que las logradas hasta ahora, y con por lo menos la misma pureza de oxígeno.

10 Otro objeto reside en un procedimiento para la separación del aire mediante oscilaciones adiabáticas de presión con menos de cuatro lechos de adsorbente pero permitiendo una recuperación y pureza de oxígeno por lo menos comparables a las del sistema de cuatro lechos
15 de la técnica ya conocida.

Esta invención, pues, se refiere a un procedimiento por oscilaciones adiabáticas de presión, para adsorber selectivamente el nitrógeno separándolo del aire de alimentación y dar como producto un efluente de oxígeno.
20 no.

En este procedimiento a la temperatura ambiente se usan por lo menos tres lechos de adsorción a base de tamices moleculares zeolíticos, introduciéndose el aire de alimentación por la extremidad de entrada de un primer
25 lecho de adsorción a la presión superatmosférica más alta

11.3.73



21

410887

y estableciéndose con ello un frente de adsorción de nitrógeno cerca de la extremidad de entrada. El efluente de oxígeno es descargado por la extremidad opuesta o de salida, sea simultáneamente con la introducción del aire de alimentación, sea a continuación de ésta, de manera que el frente de adsorción de nitrógeno se mueve hacia la extremidad de salida. Por lo menos parte del efluente de oxígeno se lleva a un lecho previamente purgado. Después de ello, se da salida a un efluente adicional de oxígeno por la extremidad de salida o descarga del primer lecho, con lo cual se descomprime a favor de corriente el primer lecho, y esta descompresión a favor de corriente da fin cuando el primer lecho se halla a una presión superatmosférica inferior. A continuación se libera el gas residual o de desecho por la extremidad de entrada del primer lecho, con lo cual se descomprime éste a contracorriente hasta alcanzar una presión superatmosférica mínima. Por la extremidad de salida del primer lecho se introduce entonces, como gas de purga, el oxígeno gaseoso procedente de la extremidad de salida de otro lecho de adsorción, gas que se hace pasar recorriendo el primer lecho, a la presión superatmosférica más baja o mínima del procedimiento, para la desorción del adsorbato de nitrógeno. El gas de purga, con su contenido de adsor

24.13
410887



bato de nitrógeno, es descargado por la extremidad de
entrada del primer lecho como gas residual. En el pri
mer lecho, ya purgado, se introduce el gas oxígeno
efluente que viene de la extremidad de salida de un le
5 cho de adsorción distinto del primero, que está a una
presión superatmosférica superior a la mínima o más ba
ja citada, para la recompresión, por lo menos parcial,
de aquél. Una parte del gas efluente de oxígeno que
sale del primer lecho es descargada como producto, y
10 el resto de este gas efluente de oxígeno es devuelto
para la recompresión y la purga de otros lechos de ad
sorción.

En el perfeccionamiento que representa
esta invención, el aire de alimentación se introduce
15 en el primer lecho a la presión superatmosférica más
alta, que es de 2,8 a 7,4 kg/cm² abs., terminándose
la descompresión a favor de corriente a una presión su
peratmosférica inferior de 1,1 a 2,8 kg/cm² abs. y
siendo por lo menos de 1,5 la razón o cociente de la
20 presión del aire de alimentación a la de terminación
de la descompresión a favor de corriente. La relación
de masas de oxígeno, del oxígeno del gas de alimenta
ción:gas efluente de oxígeno procedente de la extremi
dad de salida del primer lecho:gas oxígeno de retorno
25 es de 1:5 ... 13,5:4 ... 13,1.

11.3.73

410887

24



En los dibujos adjuntos:

- la figura 1 es un esquema funcional que ilustra los principios fundamentales de la invención;

5 - la figura 2 es una gráfica que ilustra la relación existente entre la recuperación de oxígeno, la presión de suministro del aire de alimentación y la presión de terminación de la descompresión a favor de corriente, en los procedimientos de separación del aire de esta invención;

10 - la figura 3 es un esquema de circulación de un aparato adecuado para poner en práctica el procedimiento de la invención utilizando el aire de alimentación suministrado a cada una de cuatro zonas de adsorción dispuestas en secuencia de circulación en paralelo, para producir oxígeno a esencialmente la misma presión de alimentación;

15 - la figura 4 es un programa de ciclos y de tiempos preferido para diversas etapas de una forma de realización de este procedimiento con producto de oxígeno de alta presión, que puede ser puesta en práctica con el aparato de la fig. 3;

20 - la figura 5 es un programa de ciclos y de tiempos para diversas etapas de una forma alternativa de realización con producto de oxígeno de alta

11.3.73



24

410887

presión, que puede ser puesta en práctica con un aparato semejante al de la fig. 3;

5 - la figura 6 es un esquema de circulación de un aparato adecuado para poner en práctica el procedimiento de la invención utilizando el aire de alimentación suministrado a cada una de tres zonas de adsorción en secuencia de circulación en paralelo, para producir oxígeno a una presión sensiblemente menor que la del aire de alimentación;

10 - la figura 7 es un programa de ciclos y de tiempos para diversas etapas de una forma de realización de este procedimiento, con producto de oxígeno de baja presión, que puede ser puesta en práctica con el aparato de la fig. 6; y

15 - la figura 8 es un programa preferido de ciclos y de tiempos para la puesta en práctica con el aparato de la fig. 6, dotado de compensaciones o equilibrados primero de presión más alta y segundo de presión más baja.

20 Se ha descubierto que los procedimientos ya conocidos para la separación del aire mediante oscilaciones adiabáticas de presión pueden mejorarse mediante varias innovaciones, una de las cuales se describe y reivindica en la patente de Batta (EE.UU.,
25 nº. 3.564.816) a base de emplear cuatro o más lechos

11.3.73

410887

21



de adsorbente, pero usándose dos pasos o etapas de
equilibrado de presiones entre el primer lecho que se
está descomprimiendo a favor de corriente y los demás
lechos que se están recomprimiendo parcialmente después
5 de purgados. Tras haber completado su etapa de adsor-
ción, esencialmente a la misma presión del aire de ali-
mentación, el primer lecho se equilibra primero a una
presión superior con un lecho diferente, que está a una
presión intermedia superior, mediante la acción de dar
10 salida al gas efluente de oxígeno por la extremidad de
salida o descarga del primer lecho y llevarlo a la ex-
tremidad de salida de un lecho diferente, lecho que
previamente ha sido recomprimido con gas efluente de
oxígeno devuelto, a una presión intermedia inferior.
15 Sigue a continuación una segunda etapa de equilibrado
de presiones, en la cual se da salida a un gas efluen-
te de oxígeno adicional por la extremidad de salida
del primer lecho y se hace pasar, sea a favor de co-
rriente, sea en contracorriente, a otro lecho distinto
20 de los dos anteriores, inmediatamente después de pur-
gado éste de adsorbato de nitrógeno, al nivel de pre-
sión mínimo del procedimiento. Este paso de fluido
se prolonga hasta que los dos lechos quedan equilibra-
dos a una presión intermedia inferior. A continuación
25 se purga el primer lecho con oxígeno efluente, y se

11.3.73

410887

26



recomprime a contracorriente antes de reanudarse la
etapa de adsorción. Del primer lecho se libera una
porción adicional de gas efluente de oxígeno, median-
te descompresión a favor de corriente, sea antes o
5 después de la mencionada segunda etapa de equilibrado
de presiones. Esta porción adicional, de preferencia,
se retira después del segundo equilibrado de presiones,
y se usa para purgar el otro lecho de adsorbente a la
presión más baja del proceso de tratamiento.

10 Para usos finales en los cuales el oxí-
geno obtenido como producto pueda suministrarse a pre-
siones relativamente bajas, los procedimientos para la
separación de aire por oscilaciones adiabáticas de pre-
sión de la técnica ya conocida se mejoran también por
15 medio de la invención afín descrita en la patente de
Batta (EE.UU., nº. 3.636.679). Se disponen por lo me-
nos dos lechos de material adsorbente selectivo, dota-
dos cada uno de unas extremidades de entrada y salida,
y el aire de alimentación se introduce a presión super-
20 atmosférica por la extremidad de entrada del primer le-
cho, habiéndose previamente purgado el lecho del adsor-
bato de nitrógeno y puesto inicialmente a una presión
inferior. Simultáneamente con esta introducción del
aire de alimentación, se introduce inicialmente gas
25 efluente de oxígeno, sensiblemente a la primera y

11.3.73

24



410887

más alta presión superatmosférica, por la extremidad de salida del primer lecho. También simultáneamente con la introducción del oxígeno de efluente y del aire de alimentación, se libera oxígeno como efluente por la extremidad de salida de un segundo lecho de adsorbente que previamente haya recibido por su extremidad de entrada el aire de alimentación en cantidad suficiente para que se haya formado un frente de adsorción de nitrógeno en la extremidad de entrada, y se haya trasladado progresivamente a una posición intermedia entre las extremidades de entrada y salida. El segundo lecho se encuentra inicialmente a esencialmente la presión primera (la más alta), de modo que la presión del gas oxígeno liberado como efluente va disminuyendo progresivamente a medida que el lecho se descomprime a favor de corriente. Una parte del gas oxígeno así liberado como efluente se lleva a la extremidad de salida del primer lecho, como gas de recompresión arriba citado, y otra parte se descarga simultáneamente como producto. Los flujos de paso o circulación de gas arriba citados se prolongan hasta que las presiones de gas en los lechos de adsorbente primero y segundo son sensiblemente iguales, momento en que se da fin al paso de gas oxígeno desde el segundo lecho al primero. La introducción del aire de alimentación por la extremidad

11,3.73

410887

24



de entrada del primer lecho continúa después de cesar el paso de gas oxígeno, con lo cual se recomprime adicionalmente el primer lecho a una presión superior, por encima de la presión de equilibrado de los lechos primero y segundo. Por la extremidad de salida del primer lecho, recomprimido adicionalmente, se libera gas oxígeno como efluente, y una parte de éste se emplea para purgar de adsorbato de nitrógeno el segundo lecho, a la presión más baja del procedimiento. Otra parte del gas oxígeno liberado como efluente se usa para recomprimir otro lecho de adsorbente que previamente haya sido purgado del adsorbato de nitrógeno. Este gas se introduce por la extremidad de salida del citado lecho, para su recompresión a contracorriente. A otra parte más del gas oxígeno liberado como efluente se le da salida como producto. El primer lecho se purga de nitrógeno mediante la introducción de gas oxígeno, que viene como efluente de un lecho distinto, por la extremidad de salida del primer lecho, para que lo recorra en contracorriente a la presión más baja.

La presente invención representa otro perfeccionamiento sobre los procedimientos de oscilaciones adiabáticas de presión de la técnica ya conocida que permiten obtener elevados rendimientos (más de un 80% de pureza de oxígeno, y una elevada recuperación

11.3.73

410887

24



de oxígeno, que excede del 40%), sea en el sistema del tipo de presión constante de alimentación-producto, sea en el sistema del tipo de presión variable de alimentación-producto, como antes se ha descrito. Los aspectos
5 fundamentales de este procedimiento perfeccionado están relacionados con las cinco corrientes de la fig. 1 en un ciclo completo: la corriente 10 de aire comprimido de alimentación que entra en la zona de adsorción por tamiz molecular zeolítico (ilustrada en bloque, pero
10 que comprende por lo menos tres lechos de adsorbente por separado, dispuestos en la relación de flujos en paralelo); la corriente de efluente 11 de oxígeno descargada de la zona de adsorción; la parte 11a de efluente de oxígeno devuelta a la zona de adsorción para los fines de purga, equilibrado de presiones y recompresión;
15 la parte no devuelta 11b de efluente de oxígeno liberada como producto; y el gas residual o de desecho 12 liberado por la extremidad de entrada de la zona de adsorción con el adsorbato de nitrógeno.

20 Como antes se ha indicado, el aire comprimido de alimentación 10 se introduce a la temperatura ambiente y a la máxima presión superatmosférica de 2,8 a 7,4 kg/cm² abs. Esta presión del aire de alimentación es la más alta que existe durante cualquier parte de la secuencia del procedimiento; la presión del
25
11.3.73



410887

aire de alimentación no necesita ser constante, con tal que se halle dentro de los límites indicados y sea superior a la presión existente en el lechoreceptor. El efluente de oxígeno ll procedente de la extre

5 midad de salida o descarga de la zona puede salir simultáneamente con la introducción del aire de alimentación l0 (como en la forma de realización a presión constante de alimentación-producto), o bien después de la introducción del aire de alimentación (como en la

10 forma de realización con recompresión por las dos extremidades con aire de alimentación y oxígeno). El efluente de oxígeno representa la totalidad del gas saliente por la extremidad de descarga durante un ciclo completo del procedimiento, independientemente de

15 que salga como producto llb o se devuelva a la zona de adsorción como en lla. De igual modo, la corriente lla de retorno de oxígeno es la suma de todas las corrientes devueltas a cualquier lecho de adsorbente durante todas las etapas de tratamiento de un ciclo com

20 pleto, y para cualquier finalidad u objeto: esto es, como gas de purga, gas de equilibrado de presiones o gas de recompresión. Como se apreciará asimismo de manera evidente, la totalidad de la corriente lla de retorno de oxígeno debe obtenerse de la corriente de

25 efluente de oxígeno. El producto de oxígeno llb es

11.3.73



24

410887

la diferencia neta o resultante entre el efluente l1
de oxígeno y el retorno de oxígeno l1a, y se limita
además a la porción o las porciones (puesto que el
producto de oxígeno puede estar formado o provenir de
5 más de una etapa de tratamiento) del efluente de oxí
geno a la máxima pureza disponible. A título de ejem
plo, no se derivaría oxígeno, como producto, tomándolo
del efluente de oxígeno después de la penetración de
nitrógeno procedente de la extremidad de salida del le
k0 cho.

Se ha dicho asimismo que la descompresión a favor de corriente de la zona de adsorción ha
de darse por terminada a la presión de 1,1 a 2,8 kg/cm²
abs., siendo por lo menos de 1,5 la razón o cociente
15 de la presión del aire de alimentación respecto a la
de terminación de la descompresión a favor de corrien
te. Esta presión de terminación es la de más bajo ni
vel alcanzada, en cualquier etapa del procedimiento,
a favor de corriente respecto al aire de alimentación,
20 esto es, la del gas oxígeno efluente que salga por la
extremidad de descarga o salida de producto de la zona
de adsorción. Sobre esta base, el gas efluente de oxí
geno retirado de la zona de adsorción justamente antes
de llegar a la presión de descompresión a favor de co
25 rriente incluiría el gas utilizado para cualquier fina

11.3.73

410887

24



5 lidad: por ejemplo, el de producto, el de equilibra-
de de presiones con un lecho distinto del de salida
o descarga y que estuviese inicialmente a una presión
inferior, o simplemente el de la recompresión parcial
(pero no hasta llegar al equilibrado de presiones) de
un lecho distinto que estuviese a una presión inferior.

10 Se ha descubierto inesperadamente que
si las masas de oxígeno del efluente de oxígeno 11 y
el oxígeno de retorno 11a se mantienen dentro de un
intervalo de relación o cociente respecto a la masa de
oxígeno del aire de alimentación, el comportamiento
(rendimiento y características de trabajo) del proce-
dimiento es muy superior al de los procedimientos de
oscilaciones adiabáticas de presión de la técnica ya
15 conocida para la separación del aire, en función tan-
to de una elevada pureza como de una elevada recupera-
ción del producto de oxígeno. Estas relaciones son
bastante altas, de manera que en la zona de adsorción
se mantiene una existencia grande de oxígeno, que se
20 libera como efluente y se devuelve a la zona durante
cada ciclo completo.

25 La gran existencia de oxígeno asociada
a la zona de adsorción es posible, en la práctica del
procedimiento de esta invención, debido tanto a los
efectos de coadsorción del adsorbente (esto es, a que



410887

apreciables cantidades de oxígeno son adsorbidas por los tamices moleculares zeolíticos en unión del nitrógeno) como a la retención de gas en espacios vacíos (esto es, a que entre las partículas de adsorbente se retiene apreciables cantidades de oxígeno). En particular, la relación de masas de oxígeno requerida es la de que por cada unidad de oxígeno introducida con el aire de alimentación 10 se retiren entre 5 y 13,5 unidades en el efluente de oxígeno 11, y se devuelvan entre 4 y 13, 1 unidades a la zona de adsorción.

La fig. 2 ilustra la relación cualitativa entre varios aspectos importantes de la invención, esto es, la variación de la recuperación de oxígeno como producto (11h en la fig. 1) en función de la presión del aire de alimentación y de la presión de terminación de la descompresión a favor de corriente. La gráfica indica que para una presión dada del aire de alimentación, la recuperación de oxígeno aumentará a medida que disminuya la presión de terminación de la descompresión a favor de corriente. De igual modo, para una presión de terminación fija de la descompresión a favor de corriente, la recuperación de oxígeno aumenta al aumentar la presión del aire de alimentación. Aun cuando la ilustración de la fig. 2 pone de manifiesto la relación cualitativa de la recuperación de oxígeno con las

11.3.73

410887



presiones del aire de alimentación y de la descompresión a favor de corriente, ello no basta para asegurar la característica de gran rendimiento de esta invención. Es decir, las relaciones ilustradas solamente tratan

5 de la recuperación de oxígeno en un sentido relativo, y no en sentido absoluto. Ahora bien, cuando se introduce la restricción adicional de la relación apropiada de masas de oxígeno, pueden entonces lograrse las características de gran rendimiento (en pureza y recuperación del producto de oxígeno) del procedimiento de

10 oscilaciones adiabáticas de presión. Dicho de otra manera, para obtener estas elevadas características funcionales de un procedimiento provisto de alimentación de aire a $2,8 \dots 7,4 \text{ kg/cm}^2$ abs. y que tenga una presión de terminación de la descompresión a favor de

15 corriente comprendida entre $1,1$ y $2,8 \text{ kg/cm}^2$ abs., siendo por lo menos de $1,5$ la razón o cociente de la presión del aire de alimentación a la de terminación de la descompresión a favor de corriente, es preciso

20 que haya una elevada existencia de oxígeno que pueda hacerse pasar repetidamente (cíclicamente) durante la secuencia del procedimiento, de tal manera que la relación de masas de oxígeno, de oxígeno del gas de alimentación: gas oxígeno procedente de la salida del primer

25 lecho: gas oxígeno de retorno sea la de $1:5 \dots 13,5:4$

11.3.73



410887

... 13,1. Si el procedimiento se hace funcionar con una existencia de oxígeno reducida, de tal modo que el gas oxígeno descargado del primer lecho sea menor de cinco veces la masa del oxígeno contenido en el aire de alimentación, o bien que el gas oxígeno de retorno sea menor de cuatro veces la masa de dicho oxígeno del aire de alimentación, el rendimiento funcional será apreciablemente inferior. Esto viene ilustrado por la siguiente comparación basada en una alimentación de aire a 3,17 kg/cm² abs. y una presión de terminación de la descompresión a favor de corriente de 1,27 kg/cm² abs., usando tres lechos de zeolita de calcio A de la manera indicada en las figs. 6 y 8.

Relación de masas de oxígeno respecto al oxígeno del gas de alimentación

	<u>Gas oxígeno que viene de la extremidad de salida del primer lecho</u>	<u>Gas oxígeno de retorno</u>	<u>Recuperación de oxígeno (%)</u>	<u>Pureza del producto de oxígeno (%)</u>
	12,83	12,41	42	95
20	3,0	2,7	30	95

Estos ejemplos ponen de manifiesto que mediante la puesta en práctica de esta invención con una existencia grande de oxígeno en la zona de adsorción selectiva, tal que la relación de masas de oxígeno antes

11.3.73



24

410887

definida, del oxígeno del gas de alimentación: gas oxígeno procedente de la salida del primer lecho: gas oxígeno de retorno sea de 1:12,83:12,41, puede recuperarse un cuarenta y dos por ciento del oxígeno introducido en el gas de alimentación, en forma de producto de un 95% de pureza. En acentuado contraste, cuando este mismo sistema se hace funcionar con una existencia reducida de oxígeno, característica de la técnica anterior a este invento y tal que la relación de masas de oxígeno es de 1:3,0:2,7, sólo se recupera el 30% del oxígeno contenido en el gas de alimentación, en forma de producto de un 95% de pureza.

En la puesta en práctica de esta invención, se necesitan los límites superiores de 13,5 y 13,1 para la relación de masas de oxígeno del gas oxígeno que viene de la extremidad de salida del primer lecho y el gas oxígeno de retorno, respectivamente, para tener la seguridad de que los lechos de adsorbente se utilizan al máximo para la extracción de oxígeno del aire de alimentación selectivo. Si la masa de gas de purga es excesiva, el frente de adsorción de nitrógeno se traslada al exterior de la extremidad de entrada, y se desperdicia gas oxígeno de una pureza de producto. El aire de alimentación se proporciona a una presión comprendida entre 2,8 y 7,4 kg/cm² abs. y, de preferencia, compren-

11.3.73

410887

2a



dida en el intervalo de 2,8 a 4,9 kg/cm² abs., para obtener una diferencia de presiones de adsorción-desorción necesaria para mantener la elevada existencia de oxígeno deseada en la zona de adsorción. La etapa de descompresión a favor de corriente se da por terminada a una presión de 1,1 a 2,8 kg/cm² abs. y, de preferencia, a la de 1,1 a 2,2 kg/cm² abs., siendo por lo menos de 1,5 la razón o cociente de la presión del aire de alimentación a la de terminación de la descompresión a favor de corriente, a fin de lograr un gran enriquecimiento de nitrógeno en la zona de adsorción, para un eficaz rechazo durante la sucesiva descompresión en contracorriente y obtener de ese modo una elevada recuperación de producto de oxígeno.

15 Con referencia ahora a los dibujos, la fig. 3 representa cuatro lechos de adsorbente A, B, C y D conectados en la relación de flujos de circulación en paralelo, entre el múltiple 10 de aire de alimentación y el múltiple 11 de gas efluente de oxígeno no adsorbido. Unas válvulas automáticas 1A, 1B, 1C y 1D dirigen el flujo de aire de alimentación, respectivamente, al primer lecho A, al segundo lecho B, al tercer lecho C y al cuarto lecho D. Otras válvulas automáticas 2A, 2B, 2C y 2D, respectivamente, dirigen gas oxígeno desde los mismos lechos al múltiple 11 de oxígeno.

11.3.73

410887



El nitrógeno adsorbido es rechazado por descompresión en contracorriente y purga, a través del múltiple 12 de residuos que hay en la extremidad de entrada de los lechos. Los adsorbedores A y B se unen por sus extremidades de entrada al múltiple 12 de residuos, mediante un conducto 13 que lleva incorporadas unas válvulas automáticas 3A y 3B. De igual modo, los adsorbedores C y D están unidos por sus extremidades de entrada al múltiple de residuos 12, mediante un conducto 14 que lleva incorporadas unas válvulas automáticas 3C y 3D.

Se prevé un conducto de equilibrado 15 de primera etapa, que une las extremidades de salida de los adsorbedores A y B; de igual modo, se prevé un conducto 16 de equilibrado de primera etapa que une las extremidades de salida de los adsorbedores C y D. Para obtener el equilibrado de presiones de primera etapa, hay unas válvulas automáticas 4AB y 4CD colocadas en los conductos 15 y 16, respectivamente. Unas válvulas 17 y 18, en serie con las válvulas de equilibrado 4AB y 4CD, respectivamente, son unos dispositivos de estrangulamiento manuales y preajustados, que impiden la aparición de caudales de paso excesivamente altos, y que permiten ajustar y compensar las tasas de equilibrado entre las parejas de lechos de adsorción AB y CD.

11.3.73

410887

21



En las extremidades de salida de los lechos se prevén unas válvulas automáticas 5A, 5B, 5C y 5D, dos de las cuales se abren juntas para dejar pasar el gas de descompresión a favor de corriente de uno de los lechos de adsorbente, para uso como gas de purga, a otro lecho. Unas válvulas manuales 19 y 20 colocadas en los conductos de cruce 21 y 22, respectivamente, de purga sirven para el mismo fin anteriormente explicado para las válvulas 17 y 18 del circuito de equilibrado de presiones de primera etapa. Los conductos cruzados de purga 21 y 22 (realizados en una relación de circulación en paralelo) contienen también unos reguladores de contrapresión 23 y 24 orientados en sentidos de paso opuestos, de manera que se regule el paso en uno y otro sentido entre el lecho A o el B y el lecho C o el D. Los reguladores de contrapresión 23 y 24 están ajustados para mantener una presión mínima, por ejemplo, de $4,6 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$, en el lecho sometido a la parte de la etapa de descompresión a favor de corriente asociada a la purga de otro lecho usando el oxígeno de descompresión a favor de corriente. Al llegarse a esta presión, terminan la descompresión a favor de corriente y la etapa de purga asociadas. Esta disposición impide que la descompresión a favor de corriente se prolongue hasta una presión excesiva-

11.3.73

410887



mente baja, con la consiguiente ruptura del frente de adsorción de nitrógeno.

Como antes se ha indicado, las válvulas 17, 18, 19 y 20 son unos dispositivos limitadores de gasto o caudal, que impiden que en los lechos se produzcan daños debidos a diferencias de presión y a velocidades de fluido excesivas. Una precaución similar puede tomarse durante la descompresión en contracorriente, por medio de la válvula de estrangulamiento 25 preajustada que actúa como derivación en torno a la válvula principal de residuos 26 incluida en el conducto de residuos 12. Durante la descompresión en contracorriente, está cerrada la válvula automática principal 26 de residuos, que obliga al gas a seguir la ruta de derivación a través de la válvula 25. Durante la etapa de purga a presión mínima que sigue, la válvula 26 se abre para reducir al mínimo la resistencia al paso de fluido en el conducto 12 de residuos.

El conducto de recompresión 27, con la válvula 28 de control de paso o gasto constante en él incluida, se une al múltiple 11 de oxígeno para la introducción de efluente de oxígeno que vaya de un adsorbedor (en la etapa de adsorción) a otro adsorbedor distinto que haya sido recomprimido parcialmente a una presión intermedia inferior. El conducto 27 se une a



410887

su vez a un conducto 29 de retorno de oxígeno que está en comunicación con unas válvulas de recompresión 6A ... 6D que unen los conductos de efluente de oxígeno a los adsorbedores A ... D, respectivamente.

5 Un conducto 40 de segunda etapa de equilibrio de presiones comunica por sus extremos opuestos con la extremidad de salida del lecho A por medio de la válvula 5A, con la extremidad de salida del lecho B por medio de la válvula 5B, con la extremidad de salida del
10 lecho C por medio de la válvula 5C y con la extremidad de salida del lecho D por medio de la válvula 5D. El conducto de paso 40 o flujo está controlado por unas válvulas 41 y 42.

15 Como se ha indicado anteriormente, la etapa de adsorción se termina cuando el frente de adsorción de nitrógeno se halla enteramente dentro del lecho. Este punto puede determinarse de manera ya conocida de las personas versadas en la materia, utilizando las condiciones del aire de alimentación y las
20 características dinámicas y de capacidad del adsorbente. También la primera etapa de equilibrado de presiones y al menos parte de la etapa de descompresión a favor de corriente (en la que se utiliza el oxígeno para purgar otro lecho) se detienen cuando el frente
25 de adsorción se halla todavía enteramente dentro del

11.3.73



410887

lecho, y antes de la ruptura. Esto permite la retirada del nitrógeno adsorbible y su eliminación del gas de espacios vacíos, por la extremidad de salida del lecho, de manera que el gas oxígeno saliente tiene virtualmente la misma pureza que el gas oxígeno descargado durante la etapa de adsorción. Si la parte de segundo equilibrado, a presión inferior, de la etapa de descompresión a favor de corriente, se lleva a cabo antes que la parte de purga del lecho, es preciso entonces completar todas las etapas de recuperación de gas de huecos o espacios vacíos mientras el frente de adsorción se halle todavía por entero dentro del lecho que sirve de fuente. Si la parte de segundo equilibrado, de presión inferior, se realiza después de la parte de purga de la etapa de descompresión a favor de corriente, (como se ilustra en la fig. 4), la primera o anterior puede prolongarse hasta más allá del punto de ruptura, al usarse el gas saliente para la recompresión de la extremidad de alimentación. La ruptura puede identificarse, por ejemplo, vigilando la concentración de nitrógeno en el gas de salida, y detectando el momento en que esta concentración aumente apreciablemente. La etapa de purga se ejecuta, del modo más eficaz, eliminando sólo el adsorbato de nitrógeno depositado en la etapa precedente. Esto es, el le

11.3.73



410887

cho no queda completamente limpio de todo el adsorbato de nitrógeno por la acción del fluido de purga, pero el paso en contracorriente de este último da la seguridad de que el frente de adsorción es empujado hacia atrás, en dirección de la extremidad de entrada. Esto asegura la obtención de un efluente de oxígeno limpio, incluso durante la parte inicial de la etapa de adsorción sucesiva.

El uso del sistema de la fig. 3 para poner en práctica la forma de realización con cuatro lechos se comprenderá más fácilmente haciendo referencia al programa de ciclos y tiempos de la fig. 4. Hay seis etapas distintas, cada una de las cuales lleva consigo el comienzo y/o la terminación de flujos o corrientes de circulación. Las corrientes que entran y salen del sistema de cuatro lechos están indicadas por medio de unas líneas verticales que conectan el múltiple 10 de aire de alimentación, el múltiple 11 de efluente de oxígeno y el múltiple 12 de residuos, de desorbato de nitrógeno. El múltiple 10 de aire de alimentación se une verticalmente con cada una de las cuatro etapas de adsorción, y estas últimas, a su vez, se unen verticalmente con el múltiple de oxígeno 11. Las etapas de purga y descompresión en contracorriente, durante las cuales se descarga o sale de los lechos el adsorbato

11.3.73

410887



de nitrógeno, se hallan conectadas verticalmente con el múltiple 12 de desorbato de nitrógeno residual. Las etapas de recompresión que utilizan una parte del efluente de oxígeno están conectadas verticalmente con el múltiple de oxígeno 11. Todas las corrientes de circulación de gas asociadas a los cuatro lechos están indicadas en la figura.

Para la recuperación del producto de oxígeno esencialmente a la presión del aire de alimentación (haciendo caso omiso de la pérdida de carga en el lecho de adsorción), se necesitan por lo menos cuatro lechos de adsorbente para concordar en el tiempo las etapas en que se hacen disponibles las corrientes de descompresión a favor de corriente con las etapas que pueden hacer uso de dichas corrientes. De lo contrario se requerirían grandes depósitos de contención o almacenamiento. De la fig. 2 se desprende que, en cualquier momento, uno de los lechos de adsorbente está en su etapa de adsorción, suministrando oxígeno a presión esencialmente constante al múltiple 11 de efluente de oxígeno. En el mismo instante, los otros tres lechos están descomprimiéndose a favor de corriente, o equilibrando presiones en primera etapa, limpiándose del nitrógeno adsorbido y/o recomprimiéndose, respectivamente, para la etapa de adsorción sucesiva.

11.3.73

410887



Uno de los lechos está siempre recibiendo gas oxígeno de producto para la recompresión, de modo que el consumo de oxígeno dedicado a este fin es continuo, y no intermitente.

5 En este ciclo particular, y expresado en función de cualquier lecho individual, la adsorción se lleva una cuarta parte del ciclo total, el primer equilibrado de presiones y la descompresión a favor de corriente se llevan otra cuarta parte, la descompresión en contracorriente y la purga alrededor de una sexta parte, y el tercio aproximadamente restante es para la recompresión. La utilización, dentro del sistema, del gas de equilibrado de presiones y del gas de descompresión a favor de corriente viene indicada por medio de líneas de circulación horizontales. Cada etapa de primer (I) equilibrado de presiones está conectada horizontalmente con una etapa de recompresión en otro lecho que ha sido ya parcialmente recomprimido, y cada parte de segundo (II) equilibrado de presiones de la etapa de descompresión a favor de corriente se halla conectada horizontalmente con una etapa de recompresión de un lecho diferente que haya acabado de purgarse en ese momento. Cada etapa de descompresión a favor de corriente está conectada horizontalmente con una etapa de purga de un lecho distinto.

10

15

20

25

11.3.73

410887

24



A continuación se esbozará cada etapa del ciclo del lecho A, relacionándola con las partes componentes de la fig. 3 que intervienen en los cambios del ciclo. En los cambios del ciclo intervienen las presiones que se indican como ejemplo. Se incluyen también las presiones ilustrativas de tal operación. Podría usarse un tiempo total de ciclo de 240 segundos, como el indicado en la fig. 4.

Tiempo de 0 a 60: El lecho A está en adsorción a $4,9 \text{ kg/cm}^2$ abs. Las válvulas 1A y 2A están abiertas y las válvulas 3A, 4AB, 5A y 6A están cerradas.

Tiempo de 60 a 75: Al final de la etapa de adsorción, las válvulas 1A y 2A se cierran y la válvula 4AB se abre, dando principio al equilibrado de presiones en primera etapa entre el lecho A y el segundo lecho B. En este momento, todas las demás válvulas asociadas al lecho B están cerradas, excepto la válvula 6B (o sea, las válvulas 1B, 2B, 3B y 5B). La válvula 17 limita el gasto de gas de equilibrado, para evitar la fluidización del lecho, siendo el sentido en contracorriente con el flujo de aire de alimentación en el lecho B.

Tiempo de 75 a 105: Una vez igualadas las presiones en los lechos A y B a un nivel intermedio

11.3.73

24
410887



superior de alrededor de 3,3 kilogramos por centímetro cuadrado absolutos, se cierra la válvula 4AB y se abren las válvulas 5A, 19 y 5C, dejando que pase gas oxígeno de purga desde el lecho A al tercer lecho C, en contracorriente con el flujo de aire de alimentación. En este momento están cerradas todas las demás válvulas asociadas al lecho C, excepto la válvula 1C (esto es, las válvulas 2C, 3C, 4CD y 6C). La válvula 23 estrangula y limita el paso de gas oxígeno de purga, de manera que el lecho C permanece a la presión superatmosférica más baja (mínima) del procedimiento, y ligeramente por encima de la presión de una atmósfera, suficiente para que circule convenientemente el gas de purga.

Tiempo de 105 a 120: Al final de la etapa de purga del tercer lecho C, el primer lecho A se habrá descomprimido a aproximadamente $2,3 \text{ kg/cm}^2$ abs. A este punto, la válvula 1C se cierra de manera que se suspende la continuación del paso de oxígeno del lecho A al lecho C. El paso continuado de oxígeno no puede realizarse por medio del cruce de purga (conducto 21, válvulas 23 y 19), porque la válvula reguladora 23 está ajustada para terminar la circulación de purga cuando la presión en el lecho A ha caído al límite inferior prefijado para la retirada del gas oxígeno de purga (por ejemplo, los $2,3 \text{ kg/cm}^2$ abs.). Por consiguiente, el

11.3.73

24
410887



paso continuado de gas para la recompresión en contracorriente del lecho C se deriva por el conducto 40, mediante la acción de abrir la válvula 41 y cerrar la válvula 23. La válvula 42, en serie con la válvula 41, es
5 tá preajustada para limitar el gasto o caudal de gas de recompresión. Los lechos A y C se equilibran a una presión intermedia inferior de alrededor de 0,56 kg/cm² abs. que, de ese modo, constituye el nivel de presión de terminación de la descompresión a favor de corriente
10 en este procedimiento.

Tiempo de 120 a 135: El primer lecho A se descomprime ahora en contracorriente hasta un nivel sólo ligeramente por encima de una atmósfera de presión, como nivel mínimo de presión del procedimiento, median-
15 te la acción de cerrar las válvulas 5A y 41 y abrir la válvula 3A. La válvula 26 del conducto 12 de residuos también se cierra, obligando al gas de limpieza a pasar por el dispositivo 25 de limitación de paso.

Tiempo de 135 a 165: El gas de purga para el primer lecho A se obtiene de la descompresión a favor de corriente del cuarto lecho D, después de su primera etapa de equilibrado a presión superior. Las válvulas 5A, 20 y 5D se abren, permitiendo esta circulación en contracorriente con el aire de alimentación que anteriormente pasaba. En este momento están cerradas todas las
25

410887

24



válvulas asociadas al lecho D distintas de la válvula 5D. La válvula 24 estrangula y limita el paso de gas oxígeno de purga, de manera que el lecho A permanece a un nivel de presión sólo ligeramente superior a una atmósfera. La válvula 26 del conducto 12 de residuos se vuelve a abrir también, para así reducir al mínimo la resistencia al paso de gas de purga de baja presión.

Tiempo de 165 a 180: El lecho A está ahora limpio y dispuesto para ser recomprimido en contracorriente, con gas oxígeno. La fase inicial de la recompresión se ejecuta mediante la introducción continuada del gas de espacios vacíos procedentes del cuarto lecho D. Las válvulas 3A y 20 se cierran y la válvula 41 se abre, permitiendo el paso de gas oxígeno del lecho D al lecho A. Esta recompresión parcial en contracorriente del primer lecho A continúa hasta que su presión se equilibra con la del cuarto lecho D a un nivel de presión intermedia inferior de, por ejemplo, alrededor de 1,6 kg/cm² abs. Es ésta también la etapa de equilibrado de presiones segunda, o de presión inferior, de la descompresión del lecho D a favor de corriente.

Tiempo de 180 a 195: La siguiente fase de la recompresión del lecho A se efectúa mediante equilibrado a presión superior con el segundo lecho B, que



410887

acaba de completar su etapa de adsorción y está inicialmente a la plena presión de alimentación. Las válvulas 5A y 29 se cierran y la válvula 4AB se abre, para admitir el gas oxígeno descargado del lecho B a favor de corriente. La válvula 17 limita el gasto, para prevenir la fluidificación del lecho. Esta nueva recompresión del primer lecho A en contracorriente continúa hasta que su presión se equilibra con la del segundo lecho B a un nivel de presión intermedia superior de, por ejemplo, alrededor de $3,3 \text{ kg/cm}^2$ abs. Es ésta la etapa de equilibrado primera, o de presión superior, del lecho B.

Tiempo de 195 a 240: La fase final de la recompresión del lecho A hasta alcanzar esencialmente la presión del aire de alimentación se efectúa con gas oxígeno que sale del tercer lecho C a través del múltiple 11, gas cuyo gasto o caudal de paso viene regulado preliminarmente por el dispositivo 28, a su entrada en el múltiple de recompresión 29. La válvula 4AB se cierra y la 6A se abre para admitir el gas oxígeno regulado en el lecho A. En la práctica preferida, esta fase final de recompresión usando el gas efluente de oxígeno da comienzo en el minuto 18 y prosigue simultáneamente con la primera etapa de equilibrado, a presión superior, del lecho B. Esta superposición de las dos fuentes de gas de recompresión es ventajosa

11.3.73



410887

porque facilita la utilización interna del efluente de oxígeno y evita las fluctuaciones de gasto y presión del producto de oxígeno. Al llegar el lecho A al nivel de presión del múltiple 29, se cierra la
 5 válvula 6A y el lecho queda de nuevo dispuesto a recibir aire de alimentación para su separación.

El ciclo que acaba de describirse para el lecho A sirve de tipo para los lechos B, C y D. Como se ilustra en la fig. 4, la secuencia de tiempos
 10 para poner en corriente los lechos para la adsorción es la A, D, B y C; esto es, la que forman los lechos primero, cuarto, segundo y tercero, por este orden.

A continuación se resume la forma de realización preferida con cuatro lechos de adsorción
 15 de la fig. 4, en la cual el aire de alimentación se introduce en el primer lecho a la presión superatmosférica más alta, de 2,8 a 7,4 kg/cm² abs., y el oxígeno se descarga simultáneamente a esencialmente la misma presión. Luego se equilibra el primer lecho,
 20 en un primer equilibrado a presión superior, con un segundo lecho. A continuación se descomprime el primer lecho a favor de corriente, devolviéndose oxígeno procedente de la extremidad de salida del primer lecho, durante la primera parte de esta descompresión
 25 a favor de corriente, a la extremidad de salida de un

11.3.73

410887



tercer lecho descomprimido en contracorriente, como gas de purga para la desorción del adsorbato de nitrógeno. Al terminarse la acción de purga del tercer lecho, el oxígeno procedente de la descompresión a favor de corriente del primer lecho es devuelto al tercer lecho purgado, para la recompresión parcial de éste, hasta que los lechos primero y tercero se equilibran en un segundo equilibrado (a presión inferior). El primer lecho se descomprime a continuación en contracorriente, se purga con gas oxígeno procedente de la extremidad de salida de un cuarto lecho que se está descomprimiendo a favor de corriente, y se recomprime parcialmente con gas oxígeno procedente del cuarto lecho, en un segundo equilibrado (a la presión inferior) de dicho cuarto lecho. El primer lecho se sigue recomprimiendo entonces con gas oxígeno procedente del segundo lecho, en el primer equilibrado (a la presión superior) de este último, después de lo cual el primer lecho se recomprime aún más con aire de alimentación, hasta alcanzar la presión superatmosférica. Las etapas mencionadas se ejecutan consecutivamente con los lechos cuarto, segundo y tercero, con arreglo a la secuencia cíclica de circulación de la fig. 4, siendo la relación de masas de oxígeno del oxígeno del gas de alimentación:gas oxígeno procedente de las extremidades

410887



de salida de los lechos primero a cuarto: gas: oxígeno
de retorno la de 1:5 ... 13,5:4 ... 13,1.

Ejemplo 1

5 Un sistema de cuatro lechos como el de
la fig. 3 se utilizó para separar aire con arreglo a
la secuencia cíclica de la fig. 4. Cada uno de los cua-
tro lechos constaba de dos tramos o secciones con se-
cuencia de circulación en serie, y contenía un total
10 de aproximadamente 53,2 kg de gránulos de tamiz mole-
cular de zeolita de calcio A de 1,6 mm de diámetro, en
un tramo empaquetado combinado de 15,2 cm de diámetro
interior y 3,65 metros de longitud, para la adsorción
selectiva de nitrógeno.

15 El aire comprimido de alimentación es-
taba a 4,9 kg/cm² abs. y a unos 29°C, y no fue tratado
previamente para la eliminación de impurezas secunda-
rias. Su contenido de CO₂ era el normal (de unos 300
ppm) y el contenido de humedad variaba entre 600 y 1000
20 ppm, con crestas de 2000 ppm de vez en cuando.

El tiempo total de un ciclo se alargó
hasta los 12 minutos (en contraste con los cuatro mi-
nutos del ciclo de la fig. 4), con 3 minutos para la
adsorción, 25 segundos para el primer equilibrado (a
25 la presión superior), 2 minutos y 10 segundos para la

410887



parte de gas de purga de la descompresión a favor de corriente y 25 segundos para la parte de segundo equilibrado (a la presión inferior) de la descompresión a favor de corriente, 25 segundos para la descompresión en contracorriente o de vaciado, 2 minutos y 10 segundos para la purga, y 3 minutos y 25 segundos para la recompresión. En la tabla I se resumen los resultados de dos operaciones realizadas con diferentes gastos o caudales de alimentación.

10

TABLA I

	<u>Ensayo I</u>	<u>Ensayo II</u>
Gasto de alimentación (a 1 atm., 16°C)	10,2 m ³ /h	10,5 m ³ /h
15 <u>Presiones terminales:</u>		
Equilibrado I	3,3 kg/cm ² abs.	3,3 kg/cm ² abs.
Descompresión a favor de corriente (parte del gas de purga)	2,3 kg/cm ² abs.	2,32 kg/cm ² abs.
20 Descompresión a favor de corriente (parte de equilibrado II)	1,82 kg/cm ² abs.	1,85 kg/cm ² abs.
Purga	1,05 kg/cm ² abs.	1,05 kg/cm ² abs.

11.3.73

- 38 -

410887



TABLA I (continuación)

	<u>Relación de presiones:</u>	<u>Ensayo I</u>	<u>Ensayo II</u>
	Alimentación/terminal de descompresión a favor de corriente	3,04	3,04
5	<u>Producto:</u>		
	Gasto de retirada (a 1 atm., 16°C)	0,88 m ³ /h	1,07 m ³ /h
	<u>Composición:</u>		
	Argón	4,0%	3,92%
10	Nitrógeno	160 ppm	0,27%
	Oxígeno	96,0%	95,81%
	Porcentaje de oxígeno de la alimentación recuperado en el producto	39,9%	45,6%
	<u>Relación de masas de oxígeno:</u>		
15	Gas alimentación / efluente / retorno	1:9:8,6	1:9:8,54

Partiendo de estos datos y de la selectividad de la zeolita de sodio X (13X) para con el oxígeno-nitrógeno, ya conocida, se ha estimado que si se pusiera este tamiz molecular zeolítico de poros mayores en lugar de la zeolita de calcio A, en la misma secuencia de pasos del tratamiento y en las mismas condiciones, la relación de masas de oxígeno del gas de alimentación:efluente:retorno sería de alrededor de 113:12,6 para una pureza de producto de 96% con una recuperación

410887²⁴

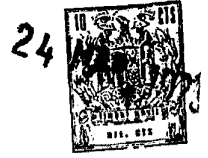


de oxígeno del 40%.

Se viene alegando que con otros sistemas de adsorción para la separación del aire, que no separan ni recuperan el gas de espacios huecos o vacíos, se consigue una recuperación equivalente a la del ejemplo 1, pero sólo con baja pureza, por ejemplo, de 30% a 40% de oxígeno. En la técnica ya conocida se ha informado de haberse llegado a obtener purezas mayores de producto, como, por ejemplo, la de 85% de oxígeno; pero la tasa de recuperación denunciada es sólo de alrededor del 1% de la carga de alimentación.

Aun cuando el ciclo de equilibrado de presiones en dos etapas arriba descrito con referencia a la fig. 4 es preferido cuando se usan cuatro lechos de adsorbente y el producto de oxígeno se necesita a esencialmente la presión del aire de alimentación, en la práctica del presente invento pueden usarse otros ciclos como, por ejemplo, el ciclo de cuatro lechos de la fig. 5. El aparato adecuado para poner en práctica el ciclo y el programa de tiempos de la fig. 5 es semejante al de la fig. 4, pero no se necesitan los conductos 15, 18, 22 y 40, y se suprimen las válvulas 19 y 23 del conducto 21. La comparación de las figs. 4 y 5 revela que, en esta última, la etapa de descompresión a favor de corriente comprende dos partes, en las cuales el le-

410887



cho en descompresión se equilibra primero a la presión superior y consecutivamente se equilibra a la presión inferior (segundo equilibrado) con lechos distintos. Asimismo, a continuación de la parte primera de recompresión a la presión inferior con gas oxígeno (por medio del segundo equilibrado, a la presión inferior), el lecho parcialmente recomprimido se aísla (se cierran todas las válvulas de los conductos asociados al lecho) durante cierto período antes de reanudarse la recompresión (por medio del primer equilibrado, a la presión superior). Eliminadas las válvulas 19 y 23, los flujos de descompresión a favor de corriente y de primero y segundo equilibrado de presiones circulan por el conducto 21 que une las extremidades de salida de los lechos. Las válvulas 5A, 5B, 5C y 5D proporcionan los controles de flujo o de gasto necesarios. El gas oxígeno se devuelve a la extremidad de salida de los lechos tanto para la recompresión final como para la purga por medio del conducto 29. Se usan las válvulas 6A, 6B, 6C y 6D para abrir el conducto 29 a los lechos A, B, C y D, respectivamente. El conducto 29 está conectado al múltiple 11 de oxígeno por medio del conducto 27. El paso de gas por el conducto 27 está regulado por la válvula de control 28, que determina el gasto de oxígeno devuelto a la extremidad de salida de los lechos.



410887

A continuación se esbozará cada etapa del ciclo del lecho A de la fig. 5, relacionándola con las partes componentes de la fig. 3 que intervienen en los cambios del ciclo. Se incluyen también las presiones ilustrativas de este funcionamiento, utilizando como adsorbente la zeolita de calcio A.

Tiempo de 0 a 60: El lecho A está recibiendo aire de alimentación a $3,9 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$ en su etapa de adsorción. Las válvulas 1A y 2A están abiertas y las válvulas 3A, 5A, 6A están cerradas.

Tiempo de 60 a 90: Al final de la etapa de adsorción del lecho A, las válvulas 1A y 2A se cierran y la válvula 5A se abre, dando principio a la descompresión a favor de corriente y al primer equilibrio, a presión superior, entre los lechos A y C. En este momento, todas las demás válvulas asociadas al lecho C están cerradas, excepto la válvula 5C.

Tiempo de 90 a 105: Una vez igualados o equilibrados los niveles de presión en los lechos A y C a alrededor de $3 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$, la descompresión del lecho A a favor de corriente se prosigue por medio de un segundo equilibrio del lecho A, a la presión inferior, con el lecho D previamente purgado. La válvula 5C (asociada al lecho C) se cierra, la válvula 5A (asociada al lecho A) permanece abierta, y la válvula 5D



410887

(asociada al lecho D) se abre. Durante esta etapa están cerradas todas las demás válvulas asociadas al lecho D (las válvulas 1D, 3D, 2D, 6D). Al final de esta etapa, los niveles de presión de los lechos A y D quedan equilibrados a unos 2 kg/cm^2 abs.

5
10
15
20
25

Tiempo de 105 a 120: Al final del segundo equilibrado, a presión inferior, el lecho A se descomprime en contracorriente por la extremidad de entrada, hasta quedar sólo ligeramente por encima de la presión atmosférica. Se cierra la válvula 5A, y se abre la válvula 3A para dirigir el gas residual al múltiple 12 de residuos. Durante esta etapa, todas las demás válvulas asociadas al lecho A (las válvulas 1A, 5A, 2A, 6A) están cerradas.

15
20
25

Tiempo de 120 a 150: Después de descomprimido el lecho A en contracorriente hasta aproximadamente la presión atmosférica, se purga, devolviendo para ello a la extremidad de salida del lecho A parte del gas oxígeno obtenido del lecho C, y haciendo pasar un gas de purga que contiene desorbato de nitrógeno desde la extremidad de entrada del lecho A hasta el múltiple 12 de residuos. Se abren las válvulas 6A y 3A y se cierran las válvulas 1A, 5A, 2A. Durante esta etapa, las válvulas 6B, 6C, 6D del conducto 29 de retorno de oxígeno están cerradas.

24
410887



Tiempo de 150 a 165: Después de purgado el lecho A, se recomprime parcialmente en contracorriente a 2 kg/cm^2 abs. mediante un segundo equilibrado, a la presión inferior, con el lecho B. El gas oxígeno descargado del lecho B fluye por la válvula 5B y la 5A hasta la extremidad de salida del lecho A. Otras válvulas asociadas al lecho A (las 1A, 3A, 2A, 6A) están cerradas.

Tiempo de 165 a 180: Durante este período se aísla el lecho A, estando cerradas todas las válvulas (1A, 3A, 2A, 5A, 6A).

Tiempo de 180 a 210: El lecho A se vuelve a recomprimir en contracorriente, desde 2 kg/cm^2 abs. a 3 kg/cm^2 abs. mediante un primer equilibrado, a la presión superior, con el lecho C. El gas de salida del lecho C pasa por la válvula 5C, el conducto 21 y la válvula 5A. Todas las demás válvulas asociadas al lecho A (las 1A, 3A, 2A, 6A) están cerradas.

Tiempo de 210 a 240: El lecho A se sigue recomprimiendo, desde los 2 kg/cm^2 abs. hasta alcanzar la presión de $3,9 \text{ kg/cm}^2$ abs. del aire de alimentación, mediante la devolución del gas oxígeno procedente del lecho D. Este gas oxígeno de recompresión final se suministra por medio de los conductos 27 y 29 y se regula mediante el regulador de gasto 28. El gas entra por la extremidad de salida del lecho A, por

410887

24



73

medio de la válvula 6A que está abierta. Otras válvulas asociadas al lecho A (las 1A, 3A, 4A, 5A) están cerradas.

Resumiendo la forma de realización de la fig. 5, tras la introducción del aire de alimentación a la presión superatmosférica más alta y la salida o descarga de oxígeno a esencialmente la misma presión, el primer lecho se descomprime a favor de corriente, devolviéndose el oxígeno procedente de la salida del primer lecho, durante la primera parte de esta descompresión a favor de corriente, a la extremidad de salida de un tercer lecho parcialmente recomprimido, para recomprimir éste adicionalmente hasta que los lechos primero y tercero llegan a un primer equilibrado, a presión superior. Para la segunda parte de la descompresión a favor de corriente del primer lecho, el oxígeno descargado se devuelve a la extremidad de salida del cuarto lecho purgado, para la recompresión parcial de este último, hasta que los lechos primero y cuarto llegan a un segundo equilibrado, a presión inferior. A continuación se descomprime el primer lecho en contracorriente, y se purga luego con gas oxígeno procedente de la extremidad de salida del tercer lecho mientras este último está recibiendo aire de alimentación.

El primer lecho purgado es parcialmente

11.3.73

410887

recomprimido con gas oxígeno procedente del segundo lecho en descompresión a favor de corriente, hasta que los lechos primero y segundo se equilibran a la segunda presión, o inferior. El primer lecho parcialmente
5 recomprimido se aísla durante cierto período, y luego se vuelve a recomprimir, con gas oxígeno procedente del tercer lecho en descompresión a favor de corriente, hasta que los lechos se equilibran a la primera presión, o superior. El primer lecho se sigue recomprimiendo,
10 ahora con gas oxígeno procedente de la extremidad de salida del cuarto lecho, mientras este último está recibiendo gas de alimentación, y las etapas arriba descritas se desarrollan consecutivamente con los lechos segundo, tercero y cuarto, de acuerdo con la secuencia
15 de ciclo de circulación de la fig. 5.

Las formas de realización de las figs. 3 a 5 inclusive resultan particularmente interesantes cuando el producto de oxígeno se necesita a una presión sustancial, es decir, a una presión relativamente alta
20 que se aproxime a la del aire comprimido de alimentación; pero en las figs. 6 a 8 se ilustran tres formas de realización de lechos adsorbentes, que pueden llegar a preferirse cuando el producto de oxígeno se vaya a consumir a una presión sólo ligeramente superior a la
25 atmosférica: por ejemplo, como gas de aireación para

11.3.73

410887



un sistema de tratamiento de aguas residuales y lodos
activados. En estas últimas formas de ejecución, por
lo menos la mayor parte del aire de alimentación se
introduce en concomitancia con una elevación en la pre-
5 sión del lecho de adsorbente. La presión del lecho su-
be porque el gasto neto instantáneo de introducción de
gas (afluencia menos efluencia) excede de la capacidad
de adsorción del lecho. Estas formas de realización
se distinguen de aquellas en las que por lo menos la par-
10 te principal del aire de alimentación se introduce du-
rante una etapa de adsorción a presión constante, esto
es, cuando el gasto neto de introducción de aire de ali-
mentación es igual a la capacidad de adsorción del le-
cho.

15 Con referencia ahora a la fig. 6, se ilus-
tran en ella tres lechos de adsorbente A, B y C conecta-
dos en la relación de flujos en paralelo, entre el múlti-
ple 11 de aire de alimentación, el múltiple 12 de gas
efluente de oxígeno, el múltiple 13 de oxígeno de purga
20 y el múltiple 14 de residuos. Unas válvulas automáti-
cas 15A, 15B y 15C dirigen el paso del aire de alimen-
tación, respectivamente, al primer lecho A, al segundo
lecho B y al tercer lecho C. Otras válvulas automáticas
16A, 16B y 16C dirigen respectivamente el gas oxígeno
25 efluente de estos mismos lechos al múltiple 12. El

11.3.73



410887

múltiple de purga 13 se une al múltiple 12 de gas efluen
te de oxígeno por la extremidad de salida de los tres
lechos, y el gas oxígeno de purga se introduce, por me
dio de válvulas automáticas 17A, 17B y 17C, en los le
chos A, B y C en contracorriente con el sentido de cir
5 culación del aire de alimentación. Unas válvulas auto
máticas 18A, 18B y 18C establecen conexión con el múl
tiple de residuos 14 en la extremidad de entrada de los
lechos correspondientes, para la descarga del gas de
10 descompresión y del gas de purga en contracorriente.
Otras válvulas 19A, 19B y 19C situadas en la extremidad
de salida, aguas arriba de las válvulas de efluente de
oxígeno 16A, 16B y 16C respectivamente, son del tipo de
reajuste manual para limitar el gasto o caudal de paso
15 del gas de equilibrado de presiones.

La fig. 7 ilustra una secuencia de tiem
pos adecuada para uso con el sistema de la fig. 6, em
pleándose seis etapas distintas que implican, cada una,
el comienzo y/o la terminación de flujos de paso. Las
20 corrientes que entran y salen del sistema de tres lechos
están indicadas por unas líneas verticales de circula
ción en el múltiple de alimentación 11 y en el múltiple
12 de gas efluente de oxígeno. El múltiple 11 de aire
de alimentación se conecta horizontalmente con cada uno
25 de los tres lechos de adsorbente, y estos últimos a su

11.3.73



410887

vez se unen horizontalmente con el múltiple 12 de efluen-
te de oxígeno. Las etapas de recompresión y de purga
que hacen uso de una parte del efluente de oxígeno están
conectadas horizontalmente con las etapas (por ejemplo,
5 de descompresión a favor de corriente y de equilibrado
de presiones) que suministran el gas oxígeno devuelto.
En la figura están identificadas todas las corrientes
de circulación entre lechos.

Como se desprende de la fig. 7, en todo
10 momento hay uno de los lechos de adsorbente suministran-
do oxígeno al múltiple 12 con presión progresivamente
decreciente, como sigue: el lecho C, durante los segun-
dos 0 ... 40; el lecho A, durante los segundos 40 ...
50; el lecho A durante los segundos 50 ... 80; y el le-
15 cho B durante los segundos 80 ... 120. Por consiguien-
te, el flujo o paso de producto de oxígeno a los medios
consumidores es continuo.

En este ciclo particular, y en función
de un lecho individual cualquiera, se invierte en recom-
20 presión un tercio del ciclo total; otro tercio se invier-
te en el paso de efluente de oxígeno y equilibrado de
presiones o descompresión a favor de corriente simultá-
neos; y el tercio restante se invierte en descompresión
en contracorriente y purga. La utilización, dentro del
25 sistema, de parte del efluente de oxígeno de un lecho

11.3.73

410887

24



particular, como gas de equilibrado de presiones y descompresión a favor de corriente, viene indicada por medio de líneas horizontales de circulación. Cada etapa de equilibrado de presiones va horizontalmente conectada con una etapa de recompresión en otro lecho que se haya ya purgado, y cada etapa de descompresión a favor de corriente está horizontalmente conectada con una etapa de purga de un lecho distinto que en ese momento acaba de ser descomprimido en contracorriente.

10 A continuación se esbozará cada etapa del ciclo del lecho A, relacionándola con las partes componentes de la fig. 6 que intervienen en los cambios del ciclo. Se incluyen también las presiones ilustrativas de este funcionamiento, para la separación de aire utilizando como adsorbente la zeolita de calcio A.

15 Tiempo de 0 a 15: El lecho A se está recomprimiendo, el lecho B se está descomprimiendo en contracorriente y el lecho C se está equilibrando en presión. Las válvulas 15A y 16A están abiertas y las válvulas 17A y 18A están cerradas. El aire de alimentación se introduce en el lecho A por su extremidad de entrada, desde el múltiple 11, y el gas efluente de oxígeno que sale del múltiple 12 se introduce simultáneamente por la extremidad de salida del lecho A. Este último gas se deriva del lecho C por la válvula de reajuste o

11.3.73

410887

21



compensación 19C, la válvula 16C, y pasa consecutivamente por las válvulas 16A y la de reajuste 19A hasta el lecho A. Durante este período, el lecho C se descomprime a favor de corriente y la circulación prosigue hasta
5 que las presiones entre los lechos A y C se equilibran esencialmente, a alrededor de $2,4 \text{ kg/cm}^2$ abs. Durante este período, el paso de gas de equilibrado es rápido, en tanto que el paso de aire de alimentación procedente del compresor 20 es limitado, de manera que la mayor
10 parte del gas para recomprimir el lecho A desde $1,05$ a $2,4 \text{ kg/cm}^2$ abs. es oxígeno efluente, por ejemplo, el 72% para la separación del aire. Durante este período, otra parte del gas oxígeno liberado del lecho C es descargado como producto en el múltiple 12.

15 Tiempo de 15 a 40: La válvula 16A está ahora cerrada, y sólo el paso de aire de alimentación prosigue hacia el lecho A, hasta alcanzarse la presión terminal de $3,9 \text{ kg/cm}^2$ abs. Esto completa el período de recompresión para el lecho A. Durante las recompre
20 siones se establece un frente de adsorción de nitrógeno cerca de la extremidad de entrada del lecho A, frente que se mueve progresivamente hacia la extremidad de salida. La cantidad de aire de alimentación respecto al gas oxígeno usado para la recompresión es tal que, al
25 terminarse la recompresión, queda un tramo de lecho des

11.3.73

410887²¹



cargado, de una longitud prefijada, entre el frente de adsorción de nitrógeno y la extremidad de salida.

Tiempo de 40 a 55: La etapa de equilibrio de presiones para el lecho A da principio mediante la acción de cierre de la válvula 15A y apertura de las válvulas 16A y 16B, descomprimiéndose el lecho a favor de corriente al liberarse gas por la extremidad de salida. Este gas recorre el tramo de lecho descargado en el cual es adsorbido el componente de nitrógeno, y el gas efluente de oxígeno que sale se emplea en dos partes. El gas oxígeno de producto fluye por la válvula de control 21 del múltiple 12 pasando al conducto de consumidor, aguas abajo de la válvula 21, con un gasto o caudal que sirve para mantener el conducto de consumidor a una baja presión adecuada, tal como la de 0,2 kg/cm² abs. La parte restante y mayoritaria del gas oxígeno pasa por las válvulas 16B y 19B a la extremidad de descarga del lecho B, para la recompresión parcial del mismo. El lecho B ha sido previamente purgado de adsorbato de nitrógeno, y se halla inicialmente al nivel de presión más bajo del sistema, de alrededor de 1,05 kg/cm² abs. Este paso de gas efluente de oxígeno desde el lecho A al lecho B continúa durante unos 15 segundos, hasta que los dos lechos se hallan esencialmente a la misma presión, por ejemplo, la de 2,4 kg/cm² abs.

11.3.73

410887



Tiempo de 55 a 80: De la extremidad de
descarga del lecho A sale oxígeno como gas efluente adi-
cional, para continuar la descompresión de aquél a fa-
vor de corriente, introduciéndose una parte del mismo
5 en la extremidad de salida del lecho C mediante el cie-
rre de la válvula 16B que está abierta y de la válvula
automática 17C en el múltiple de purga, para purgar de
adsorbato de nitrógeno a alrededor de $1,05 \text{ kg/cm}^2$ abs.
Las válvulas 23 y 24 reducen la presión del gas de pur-
10 ga a muy poco más de una atmósfera, y también mantienen
constante el gasto de gas de purga. Esto a su vez man-
tiene constante la cantidad total de gas de purga, ya
que la etapa de purga dura preferiblemente un espacio
de tiempo fijo. El gasto o caudal de paso se regula a
15 un valor constante por medio de la válvula reguladora
23, que mantiene la presión constante entre las dos vál-
vulas 23 y 24. El gas residual que sale por la extre-
midad de entrada del lecho C pasa por la válvula automá-
tica 18C del múltiple de residuos 14, y es liberado por
20 medio de la válvula automática 25 de descarga o salida
de residuos. Esta válvula últimamente citada es un dig-
positivo limitador de paso, y no del tipo de corte o cie-
rre total. Estando "cerrada" introduce en el múltiple
de residuos 14 una restricción de paso que reduce la ve-
25 locidad de descompresión a un valor inferior al que pro-

11.3.73

410887



1973

duce la restricción de las partículas de adsorbente. Ahora bien, para la descarga del gas de purga se abre la válvula 25 eliminándose la restricción, por cuanto el gas to o paso del gas está ya limitado por el sistema de
5 válvulas 23, 24. Otra parte del gas efluente de oxígeno que sale del lecho A es descargada como producto de oxígeno. Durante esta etapa, la presión del lecho A y del múltiple 12 sigue disminuyendo hasta llegar aproximadamente a 1,5 kilogramos por centímetro cuadrado de
10 presión absoluta, lo cual sucede al cabo de 25 segundos más (a los 80 segundos del ciclo, o sea a los 2/3 del ciclo total). El límite más bajo de presión para la descompresión a favor de corriente, por ejemplo, el de 1,5 kg/cm² abs., ha de mantenerse porque la presión co-
15 rresponde a la ruptura inminente del frente de adsorción en la extremidad de salida del lecho. Esto completa la fase de producción para el lecho A. Para esta particular ilustración, la relación de presiones, del aire de alimentación a la de terminación de la descom-
20 presión a favor de corriente, es de alrededor de $55/21,5 = 2,56$.

Tiempo de 80 a 95: El lecho A empieza ahora en fase de rechazo de adsorbato de nitrógeno (desorción), mediante la acción de cerrar las válvulas 16A
25 y 17C y abrir la válvula 18A. Por la extremidad de en-
11.3.73

410887



trada del lecho A se libera gas adicional a $1,5 \text{ kg/cm}^2$ abs., para la descompresión en contracorriente del mismo, a través del múltiple de residuos 14 y de la válvula de descarga 25. Esta última válvula está "cerrada" para esta etapa, a fin de introducir la mencionada restricción y evitar que salgan del lecho unos caudales excesivos. Esta etapa continúa hasta bajar a muy poco más de una atmósfera en unos 15 segundos.

Tiempo de 95 a 120: El lecho A se purga del adsorbato de nitrógeno restante, mediante la apertura de las válvulas 17A y 25. El gas efluente adicional de oxígeno que viene de la extremidad de salida del lecho B pasa por el múltiple 12, por las válvulas 23, 24 y el múltiple de purga 13, y luego por la válvula 17A hasta la extremidad de salida del lecho A. El gas de purga que contiene nitrógeno y que sale por la extremidad de entrada del lecho A pasa por la válvula 18A y es descargado a través de la válvula de residuos 25. La purga se prolonga durante 25 segundos, tiempo en el cual se termina el ciclo completo de 120 segundos. El lecho A queda entonces dispuesto para la recompresión, de la manera anteriormente descrita.

Los lechos B y C recorren consecutivamente los ciclos según las etapas arriba indicadas, entrando el lecho B en la recompresión simultánea con aire de

11.3.73

410887



alimentación y gas efluente de oxígeno cuando el lecho A se halla en la etapa de equilibrado de presiones (tiempo de 40 a 55 segundos). El lecho C entra en la recom
5 presión simultánea con aire de alimentación y efluente de oxígeno con el lecho A en la etapa de descompresiones en contracorriente (tiempo de 80 a 95 segundos). El cambio necesario en las válvulas para estas etapas se deducirá fácilmente de las figs. 6 y 7 y de la descripción que antecede. Es necesario un sistema de control de ciclos
10 para iniciar y coordinar estos cambios de válvulas. Este regulador de ciclos puede, por ejemplo, recibir una señal de los medios detectores de presión existentes en el conducto 11 de aire de alimentación, aguas abajo del compresor 20.

15 Como se comprenderá, se prevén modificaciones del programa de tiempos de la fig. 7. Por ejemplo, la duración de la etapa de purga no necesita coincidir exactamente con la etapa de descompresión a favor de corriente del lecho que suministra el gas de purga.
20 La etapa de purga del lecho A puede terminarse un poco antes de que acabe la etapa de descompresión del lecho B a favor de corriente, y durante este breve período puede aislarse el lecho A purgado, antes de que empiece la recom
25 presión del mismo. Por consiguiente, la totalidad del gas de descompresión a favor de corriente que sale

11.3.73

410887

24



del lecho B es entregada como oxígeno de producto durante el aislamiento del lecho A, no usándose nada de este gas interiormente.

5 La fig. 8 ilustra una forma preferida de
realización del sistema de tres lechos, que puede poner
se en práctica con el aparato de la fig. 6. El programa
de tiempos de la fig. 7 se ha modificado para obtener
dos etapas de equilibrado de presiones, en lugar de
una, durante la descompresión de cada lecho, comprendien
do el segundo equilibrado, a presión inferior, parte de
10 la etapa de descompresión a favor de corriente del lecho
que libera efluente de oxígeno. Esto permite obtener
una mayor recuperación de producto, conservándose al pro
pio tiempo la misma pureza de producto. Una comparación
15 de etapa por etapa de la fig. 8 con la fig. 6 (por ejemplo,
para el lecho A) pone de manifiesto que la recompre
sión simultánea con aire de alimentación y gas efluente
de oxígeno es de la misma duración (segundos 0 a 15).
Asimismo, la duración total de la recompresión adicional
20 con aire de alimentación hasta la presión superatmosférica
más alta del procedimiento es la misma (segundos
15 ... 35 y 35 ... 40). La primera etapa de equilibra
do de presiones en la fig. 8 es semejante al único equi
librado de presiones de la fig. 7 (segundos 40 a 55),
25 excepto en que continúa hasta $2,7 \text{ kg/cm}^2$ abs., y no ha

24
410887



ta 2,4 kg/cm² abs.

Durante la parte de segunda etapa de equilibrio de presiones de la descompresión a favor de corriente (segundos 75 a 80), se libera más gas efluente de oxígeno por la extremidad de salida del lecho A, y se dirige a la extremidad de salida del lecho C. La válvula 18C está cerrada, de manera que el lecho C se recomprime parcialmente. Este paso continúa hasta que las presiones de gas en los lechos A y C son sensiblemente iguales, lo cual ocurre al cabo de unos 5 segundos y a 1,4 kg/cm² abs.

Las etapas de descompresión en contracorriente de las figs. 7 y 8 son de la misma duración (segundos 80 a 95), pero la etapa de purga de la fig. 8 es 5 segundos más breve (segundos 95 a 115, en lugar de 95 a 120). En los cinco segundos finales del proceso de tratamiento, el lecho purgado es parcialmente recomprimido por el paso de gas efluente de oxígeno que viene de la extremidad de salida del lecho B y entra en la extremidad de salida del primer lecho hasta que los dos lechos se equilibran en presión a aproximadamente 1,4 kg/cm² abs., esto es, el equilibrado de presiones de segunda etapa del lecho B.

Resumiendo la forma de realización arriba descrita, de tres lechos de adsorción, que se prefie



410887

re cuando el producto de gas oxígeno se va a descargar a baja presión, el primer lecho se halla inicialmente a la presión superatmosférica más baja y purgado de adsorbato de nitrógeno. El aire de alimentación y el gas oxígeno se introducen de modo simultáneo y respectivamente por la extremidad de entrada y por la extremidad de salida del primer lecho, inicialmente a la presión superatmosférica más alta, de 2,8 a 4,9 kg/cm² abs.

Por la extremidad de salida de un tercer lecho se libera simultáneamente gas oxígeno, inicialmente a la presión superatmosférica más alta, descargándose una parte de éste como producto y devolviéndose el resto a la extremidad de salida del primer lecho para la citada introducción simultánea, y continuando los flujos de circulación de gas hasta que los lechos primero y tercero llegan a un primer equilibrio de presión superior. Después de terminar la introducción de gas oxígeno por la extremidad de salida, se prosigue la introducción de aire de alimentación por la extremidad de entrada del primer lecho hasta que el lecho se recomprime a la presión superatmosférica más alta. De la extremidad de salida del primer lecho recomprimido se libera luego oxígeno, del cual una parte sale como producto y el resto es devuelto a la extremidad de salida de un segundo lecho, parcialmente recomprimido, para su

11.3.73



410887

introducción simultánea, durante la del aire de alimentación por la extremidad de entrada del segundo lecho, hasta que los lechos primero y segundo llegan a un primer equilibrado, de presión superior. El primer lecho se descomprime luego a favor de corriente hasta la presión del 1,1 a 2,2 kg/cm² abs., descargándose una parte del oxígeno como producto y revolviéndose el resto a la extremidad de salida del tercer lecho durante la primera parte de dicha descompresión a favor de corriente, para purgar a éste de adsorbato de nitrógeno. Al terminarse la purga del tercer lecho, el resto del oxígeno del primer lecho es devuelto a la extremidad de salida del tercer lecho hasta que los lechos primero y tercero llegan a un segundo equilibrio, de presión inferior. El primer lecho se descomprime después en contracorriente, y el oxígeno procedente de una descompresión a favor de corriente del segundo lecho es devuelto entonces a la extremidad de salida del primer lecho, para la purga del mismo. Las etapas arriba descritas se desarrollan consecutivamente con los lechos segundo y tercero, de acuerdo con la secuencia cíclica de circulación de la figura 8, siendo de 1:5 ... 9,5:4 ... 9,1 la relación de masas de oxígeno del oxígeno del gas de alimentación:gas de oxígeno procedente de las extremidades de salida de los lechos primero

11.3.73

410887



a. tercero: gas oxígeno de retorno.

Las ventajas de la invención se ilustraron en una serie de ensayos, empleando la forma de realización de tres lechos de la fig. 6 con el programa de tiempos de las figs. 7 y 8.

Ejemplo 2

Cada uno de los tres lechos de adsorbente era de 66 cm de diámetro interior y 2,43 m de altura, conteniendo 590 kg de gránulos de zeolita de calcio A de 1,6 mm de diámetro. El aire se comprimió a 3,9 kg/cm² abs. y se introdujo en el sistema a un caudal medio de 172.000 litros/hora S.T.P. (presión y temperatura normales, de 760 mm. Hg, 20°C) sin previo tratamiento, esto es, sin secar ni eliminar el CO₂. Con referencia a la fig. 7, cada lecho se recomprimió mediante la introducción simultánea de aire comprimido y gas afluente de oxígeno a una presión de equilibrado de alrededor de 2,4 kg/cm² abs. (2,47 kg/cm² abs. el lecho emisor y 2,33 kg/cm² abs. el lecho receptor). La recompresión final con aire comprimido se continuó hasta el nivel total o máximo de 3,9 kg/cm² abs. En la etapa siguiente, el lecho finalmente recomprimido se equilibró con simultánea entrega de oxígeno de producto a unos 2,4 kg/cm² abs. A continuación, el lecho fue ali-

11.3.73

410887



cionalmente descomprimido a favor de corriente hasta
alrededor de los 1,5 kg/cm² abs., proporcionándose si
multáneamente gas de purga para otro lecho y producto
para el consumo. El lecho fue luego descomprimido en
5 contracorriente hasta alrededor de los 1,1 kg/cm² abs.
y purgado en contracorriente al mismo nivel de pre-
sión. El oxígeno de producto fue entregado a razón de
21.050 litros/hora S.T.P. a una presión de 1,4 kg/cm²
abs. y una pureza de 90,9% de oxígeno. La recupera-
10 ción de oxígeno como producto fue del 53% del oxígeno
introducido en el gas de alimentación. Esta recupera-
ción es sustancialmente mayor que la alcanzable utili-
zando el sistema de cuatro lechos de la patente de Wagner,
EE.UU. 3.430.418, y la inversión en instalación para
15 lechos de adsorbente y tuberías correspondientes se re-
dujo aproximadamente en una cuarta parte. En este ejem-
plo, la razón de presiones de aire de alimentación a la
de terminación de la descompresión a favor de corrien-
te fue de alrededor de $55/20 = 2,74$, y la relación de
20 masas de oxígeno entre el oxígeno del gas de alimenta-
ción, el gas oxígeno procedente de la extremidad de sa-
lida de los tres lechos y el gas oxígeno de retorno fue
de aproximadamente 1:5:4,47.

Ejemplo 3

25 Se utilizó el mismo sistema que en el ejem



410887

plo 2, pero el equilibrado de presiones se efectuó en la modalidad de dos etapas de la figura 8. Al sistema se llevó el aire comprimido a $3,9 \text{ kg/cm}^2$ abs. con un caudal medio de 182.500 litros/hora S.T.P. sin tratamiento previo. Cada lecho se recomprimió primero por equilibrado con un segundo lecho a una presión inferior, de alrededor de $1,4 \text{ kg/cm}^2$ abs.; luego, por equilibrado con un tercer lecho mientras simultáneamente se introducía aire de alimentación, a una presión superior de alrededor de $2,7 \text{ kg/cm}^2$ abs.; y finalmente con aire comprimido sólo, al nivel de los $3,9 \text{ kg/cm}^2$ abs. El lecho fue luego equilibrado en primera etapa con un segundo lecho a la presión superior de unos $2,7 \text{ kg/cm}^2$ abs. mientras simultáneamente se descargaba oxígeno como producto. A continuación fue descomprimido a favor de corriente para dar gas de purga para un tercer lecho y se siguió descargando oxígeno como producto, hasta que la presión del primer lecho decayó a $1,8 \text{ kg/cm}^2$ abs. En la parte que siguió luego, de segundo equilibrado de presión, de la etapa de descompresión a favor de corriente con un tercer lecho y simultánea descarga de oxígeno como producto, la presión terminal fue de $1,4 \text{ kg/cm}^2$ abs. El lecho se descomprimió luego en contracorriente a una presión de purga de alrededor de $1,09 \text{ kg/cm}^2$ abs., siguiendo con una purga con efluente de oxígeno procedente

410887



del segundo lecho. El producto de oxígeno se entrega-
ba a razón de 21.100 litros/hora S.T.P. a $1,4 \text{ kg/cm}^2$
abs., y con una pureza de 90% de oxígeno. La recupe-
5 ración de producto, de oxígeno fue del 55,5% del oxí-
geno introducido. Esta recuperación es comparable a
la que puede alcanzarse usando el sistema de cuatro le-
chos con dos etapas de equilibrado de presiones, de
las figs. 3 y 4. La razón de la presión de aire de
alimentación a la presión de terminación de la descom-
10 presión a favor de corriente fue aquí también de alre-
dedor de 2,74, y la relación de masas de oxígeno entre
el oxígeno del gas de alimentación, el gas oxígeno pro-
cedente de la extremidad de salida de los tres lechos
y el gas oxígeno de retorno fue de aproximadamente 1:5:4,44.

15 Aun cuando se han descrito con detalle
ciertas formas determinadas de realización, se aprecia-
rá que dentro del ámbito de la invención se prevén otras
formas de ejecución además de modificaciones y varian-
tes de las características expuestas.

20 La presente solicitud que corresponde a
la presentada en Estados Unidos de América, con fecha
24 de Enero de 1.972, bajo el número 219.942, se acoge
a los beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto
sobre Propiedad Industrial.



410887

REIVINDICACIONES

Los puntos de Invención, propia y nueva, que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de 1er. Certificado de Adición en España, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

1.- Mejoras introducidas en el objeto de la patente principal Nº 396.496 solicitada el 29 de Octubre de 1.971 por: "Un procedimiento adiabático para separar mezclas de gases a presión superatmosférica" en concreto para la separación del aire mediante las acciones de adsorber selectivamente el nitrógeno de modo alternativo en por lo menos tres lechos de adsorción por tamiz molecular zeolítico a la temperatura ambiente mediante la introducción del aire de alimentación por la extremidad de entrada de un primer lecho de adsorción a una presión superatmosférica máxima (la más alta del sistema), descargar oxígeno por la extremidad de salida e introducir por lo menos parte del oxígeno en un lecho purgado para la recompresión parcial de éste, liberar oxígeno adicional por la extremidad de salida del primer lecho para así descomprimir a favor de corriente dicho primer lecho y finalizar esta descompresión a favor de corriente cuando el primer lecho está a una presión superatmosférica inferior, descargar una parte de dicho oxígeno que sa-

11.3,73



410887

le del primer lecho como producto y devolver el resto de dicho oxígeno para la recompresión y purga de otros lechos de adsorción, liberar gas residual por la extremidad de entrada del primer lecho para así descomprimir a éste en contracorriente, introducir gas oxígeno procedente de la extremidad de salida de otro lecho de adsorción en la extremidad de salida del primer lecho como gas de purga y hacer fluir éste a través del mismo a una presión superatmosférica mínima (la más baja del sistema) para la desorción del adsorbato de nitrógeno y descargar el gas de purga que contiene adsorbato de nitrógeno por la extremidad de entrada del primer lecho como gas residual, introducir gas oxígeno, procedente de la extremidad de salida de otro lecho de adsorción distinto del primero y a una presión superatmosférica superior a la mínima citada, en el primer lecho purgado, y para la recompresión por lo menos parcial del mismo, caracterizadas por introducir dicho aire de alimentación en el primer lecho citado a una presión superatmosférica de 2,8 a 7,4 kg/cm² abs. como presión superatmosférica máxima y dar por terminada dicha descompresión a favor de corriente a una presión superatmosférica inferior de 1,1 a 2,8 kg/cm² abs., siendo por lo menos de 1,5 la razón o cociente de la presión del aire de alimentación a la de terminación de la descompresión a favor de co-



410887

rriente, y manteniéndose una relación de masas de oxígeno, del oxígeno del gas de alimentación:gas oxígeno procedente de la extremidad de salida del primer lecho:gas oxígeno de retorno, de 1:5 ... 13,5:4 ... 13,1.

5

2ª.- Mejoras según la reivindicación 1ª, en las que dicho aire de alimentación se introduce en dicho primer lecho a una presión de 2,8 a 4,9 kilogramos por centímetro cuadrado absolutos como presión superatmosférica máxima, dicha descompresión a favor de corriente se da por terminada a una presión superatmosférica inferior de 1,1 a 2,2 kg/cm² abs. y la relación de masas de oxígeno entre el oxígeno del gas de alimentación, el gas oxígeno procedente de la extremidad de salida del primer lecho y el gas oxígeno de retorno es de 1:5 ... 9,5:4 ... 9,1.

10

15

3ª.- Mejoras según la reivindicación 1ª, con cuatro lechos de adsorción, en las que dicho aire de alimentación se lleva al citado primer lecho a la presión superatmosférica más alta y el oxígeno se descarga simultáneamente a esencialmente la misma presión, el primer lecho se equilibra primero a una presión superior con dicho segundo lecho, se descomprime a favor de corriente, devolviéndose el oxígeno que sale por la extremidad de salida del primer lecho, durante la primera parte de tal descompresión a favor de corriente,

20

25

11.3.73

[Handwritten signature]

410887

24



a la extremidad de salida de un tercer lecho descomprimido en contracorriente, como gas de purga para la desorción de adsorbato de nitrógeno, y devolviéndose tal oxígeno a continuación al tercer lecho purgado para la recompresión parcial del mismo hasta que los lechos primero y tercero llegan a un segundo equilibrado, a presión inferior, se descomprime en contracorriente, se purga con gas oxígeno procedente de la extremidad de salida de un cuarto lecho que se está descomprimiendo a favor de corriente, se recomprime parcialmente con gas oxígeno procedente del citado cuarto lecho en un segundo equilibrado, a la presión inferior, de éste, se recomprime adicionalmente con gas oxígeno procedente de dicho segundo lecho en un primer equilibrado, a la presión superior, de éste, y luego se vuelve a recomprimir con aire de alimentación hasta la citada presión superatmosférica más alta; y las etapas arriba descritas se prosiguen consecutivamente con los lechos cuarto, segundo y tercero, con arreglo a la secuencia cíclica de circulación de la fig. 4.

4ª.- Mejoras según la reivindicación 1ª, con cuatro lechos, en las que dicho aire de alimentación se lleva al citado primer lecho a la presión superatmosférica más alta y se descarga oxígeno simultáneamente a esencialmente la misma presión, el primer lecho

11.3.73

21

410887



se descomprime a favor de corriente, devolviéndose el oxígeno que sale por la extremidad de salida del primer lecho, durante la primera parte de tal descompresión a favor de corriente, a la extremidad de salida

5 de un tercer lecho recomprimido parcialmente, para la recompresión adicional de éste hasta que los lechos primero y tercero llegan a un primer equilibrado, a la presión superior, y devolviéndose a continuación dicho oxígeno, durante la segunda parte de tal descom-

10 presión a favor de corriente, a la extremidad de salida de un cuarto lecho purgado, para la recompresión parcial de éste hasta que los lechos primero y cuarto llegan a un segundo equilibrado, a la presión inferior, se descomprime en contracorriente, se purga con gas

15 oxígeno procedente de la extremidad de salida del citado tercer lecho mientras éste se halla recibiendo aire de alimentación, se recomprime parcialmente con gas oxígeno procedente de un segundo lecho que se está descomprimiendo a favor de corriente hasta que los lechos pri-

20 mero y segundo llegan a un segundo equilibrado, a la presión inferior, el primer lecho parcialmente recomprimido se aísla durante cierto período y a continuación se recomprime adicionalmente con gas oxígeno procedente del tercer lecho que se está descomprimiendo

25 a favor de corriente, hasta que los lechos primero y

11,3,73

- 69 -

RM

21
410887



tercero llegan a un primer equilibrado, de presión superior, el primer lecho se sigue recomprimiendo todavía más hasta alcanzar dicha presión superatmosférica más alta, con gas oxígeno procedente de la extremidad de salida del citado cuarto lecho mientras éste se halla recibiendo gas de alimentación; y las etapas arriba descritas se prosiguen consecutivamente con los lechos segundo, tercero y cuarto, con arreglo a la secuencia cíclica de circulación de la fig. 5.

5
10
15
20
25

5ª.- Mejoras según la reivindicación 1ª, con tres lechos de adsorción, en las que el citado primer lecho se halla inicialmente a dicha presión superatmosférica mínima y purgado de adsorbato de nitrógeno, se introducen simultáneamente aire de alimentación y gas oxígeno, respectivamente, por la extremidad de entrada y por la extremidad de salida del primer lecho, inicialmente a la citada presión superatmosférica máxima de 2,8 a 4,9 kg/cm² abs. y se libera simultáneamente gas oxígeno por la extremidad de salida de un tercer lecho, inicialmente a la citada presión superatmosférica máxima, y una parte del mismo se descarga como producto y el resto se devuelve a la extremidad de salida del primer lecho para la citada introducción simultánea, prolongándose las circulaciones de gas hasta que los lechos primero y tercero llegan a un primer

11.3.73

410887

24



equilibrado, a presión superior, se prolonga la introducción de aire de alimentación por la extremidad de entrada del primer lecho, después de terminada la introducción de gas oxígeno por la extremidad de salida, hasta que el primer lecho se recomprime a dicha presión superatmosférica máxima o más alta, se libera después oxígeno por la extremidad de salida del primer lecho recomprimido, descargándose una parte del mismo como producto y devolviéndose el resto a la extremidad de salida de un segundo lecho parcialmente recomprimido, para su introducción simultánea durante la introducción de aire de alimentación por la extremidad de entrada del segundo lecho, hasta que los lechos primero y segundo llegan a un primer equilibrado, a la presión superior, se descomprime el primer lecho a favor de corriente hasta bajar a la presión de 1,1 a 2,2 kg/cm² abs., descargándose una parte del oxígeno como producto y devolviéndose el resto a la extremidad de salida del tercer lecho durante la primera parte de la citada descompresión a favor de corriente, para purgar éste del adsorbato de nitrógeno, y se devuelve a continuación a la extremidad de salida del tercer lecho hasta que los lechos primero y tercero llegan a un segundo equilibrado, a la presión inferior, se descomprime a continuación el primer lecho en contracorrien-

11.3.73

410887



te, el oxígeno procedente de un segundo lecho que se
está descomprimiendo a favor de corriente se devuelve
a la extremidad de salida del primer lecho para la pur
ga de éste; y las etapas arriba descritas se prosiguen
5 consecutivamente con los lechos segundo y tercero, con
arreglo a la secuencia cíclica de circulación de la
fig. 8; siendo la relación de masas de oxígeno entre
el oxígeno del gas de alimentación, el gas oxígeno pro
cedente de las extremidades de salida de los lechos pri
10 mero a tercero inclusive, y el gas oxígeno de retorno,
la de 1:5 ... 9,5:4 ... 9,1.

6ª.- Mejoras introducidas en el objeto
de la Patente Principal nº 396.496, solicitada el 29 de
Octubre de 1.971, por: "Un procedimiento adiabático pa
15 ra separar mezclas de gases a presión superatmosférica".

Tal y como se ha descrito en la Memoria
que antecede, representado en los dibujos que se acom
pañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de setenta y dos ho
20 jas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 24 MAR. 1973

P.A.

Albano de Eizaburu
Fm. Fed. 1973

11.3.73
JGM/.

410887



SIGNIFICADO DE LAS LEYENDAS DE LAS FIGURAS
2, 4, 5 y 7

(de izquierda a derecha y de arriba a abajo)

- 1) Recuperación de oxígeno
- 2) Presión del aire de alimentación
- 3) Descompresión a favor de corriente
- 4) Presión de terminación
- 5) Tiempo de un ciclo, segundos
- 6) Lecho A
- 7) Adsorción
- 8) ler. equilibrado de presiones
- 9) Descompresión a favor de corriente (purga)
- 10) Descompresión a favor de corriente (2º equilibrado de presiones)
- 11) Descompresión de contracorriente
- 12) Purga
- 13) Recompresión
- 14) Adsorbedor
- 15) Lecho B
- 16) Lecho C
- 17) Lecho D
- 18) Tiempo de un ciclo, segundos
- 19) Descompresión a favor de corriente (1er. equilibrado de presiones)
- 20) Aislado
- 21) Equilibrado
- 22) Alimentación
- 23) Producto

- a -

11.3.73

JGM

410887

24

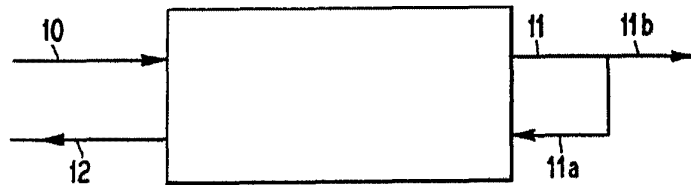


FIG. 1

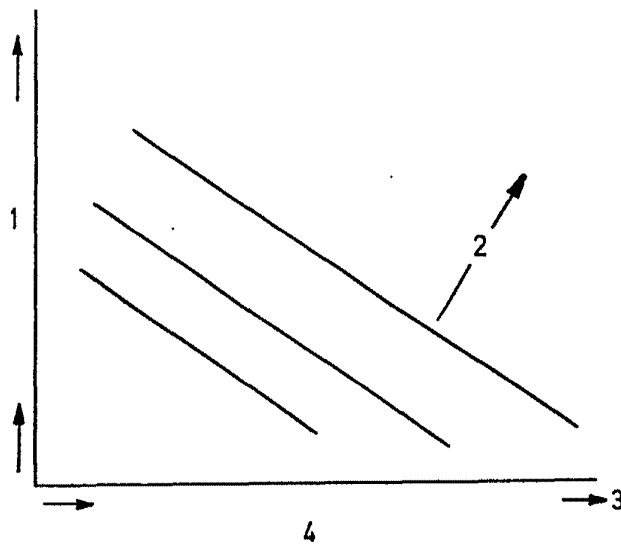


FIG. 2

Alberto de Elzaburu
Per Feder.

410887²⁴



FIG. 3

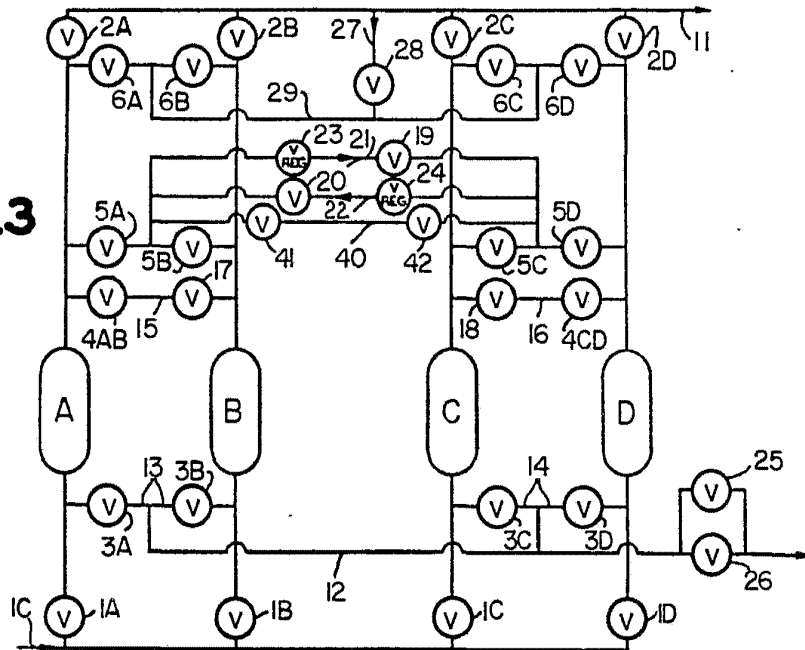
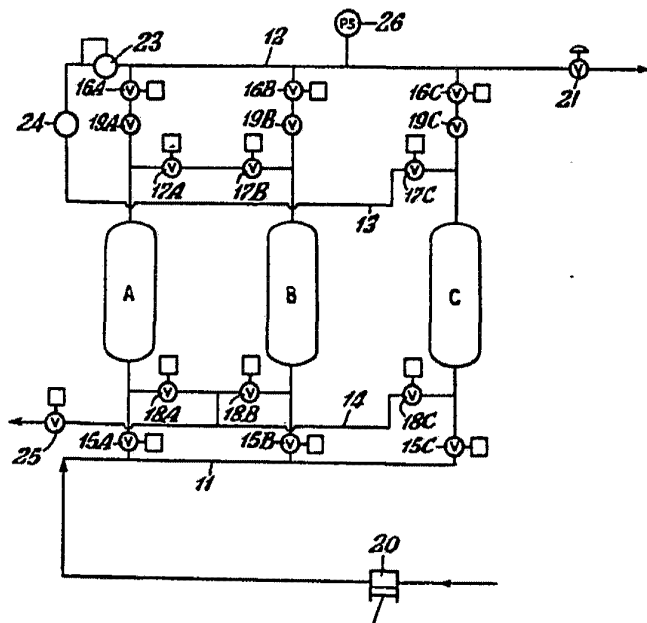


FIG. 6



[Handwritten signature]

410887

410887

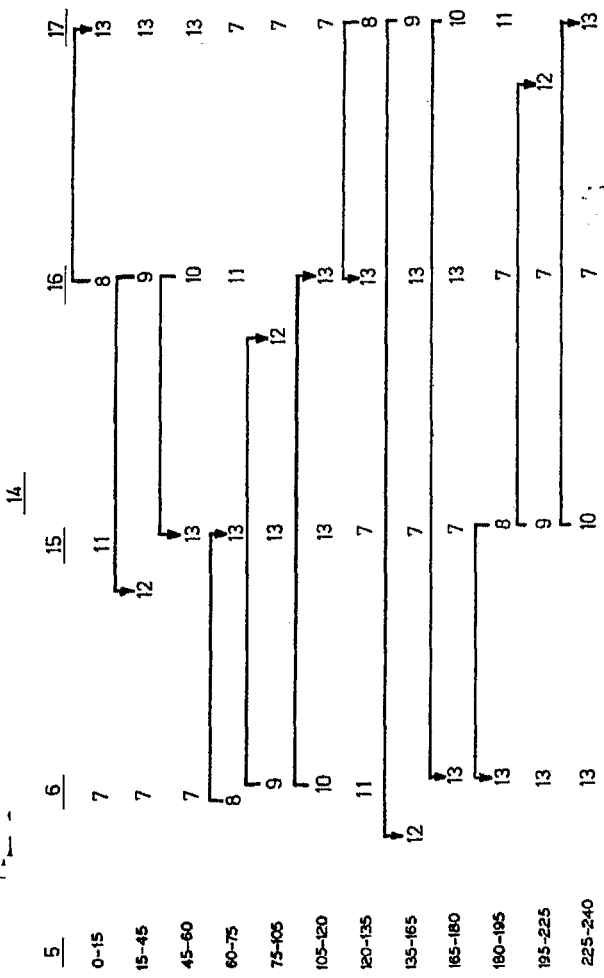


FIG. 4

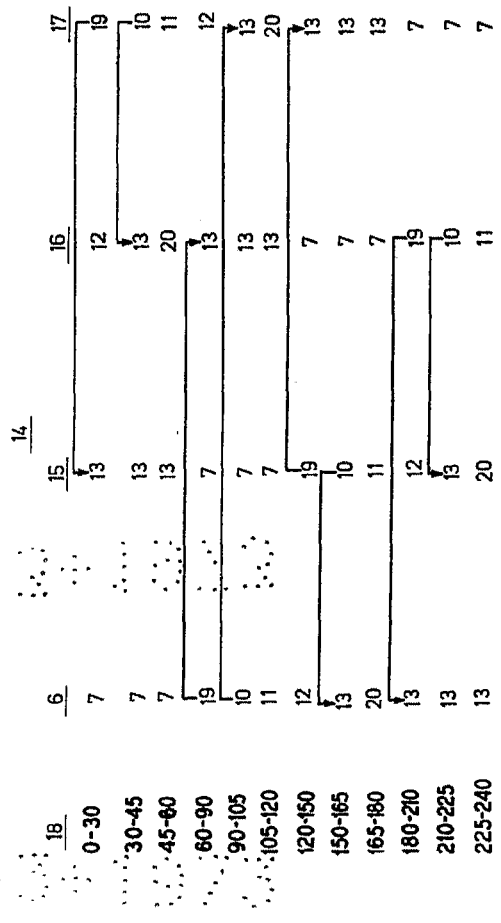


FIG. 5

Albert de Klerk
Attorney

41085

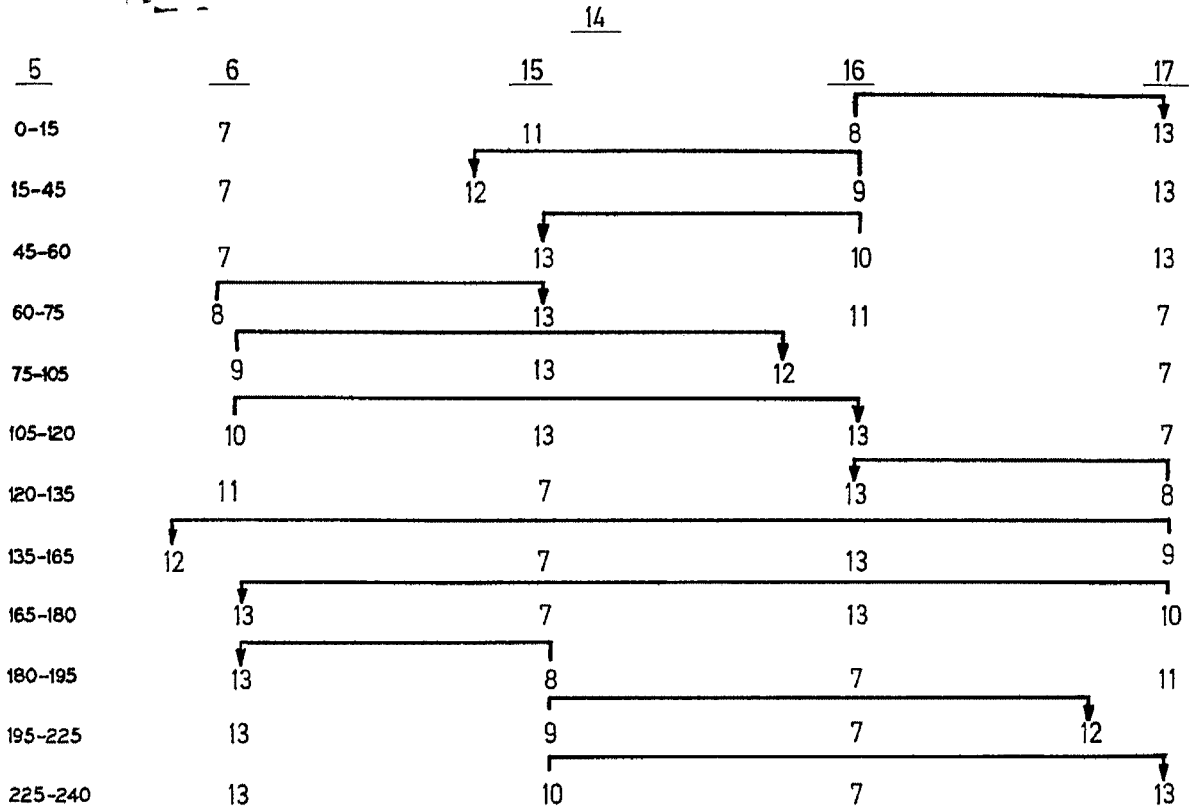


FIG. 4

<u>18</u>	<u>6</u>
0-30	7
30-45	7
45-60	7
60-90	19
90-105	10
105-120	11
120-150	12
150-165	13
165-180	20
180-210	13
210-225	13
225-240	13



410887

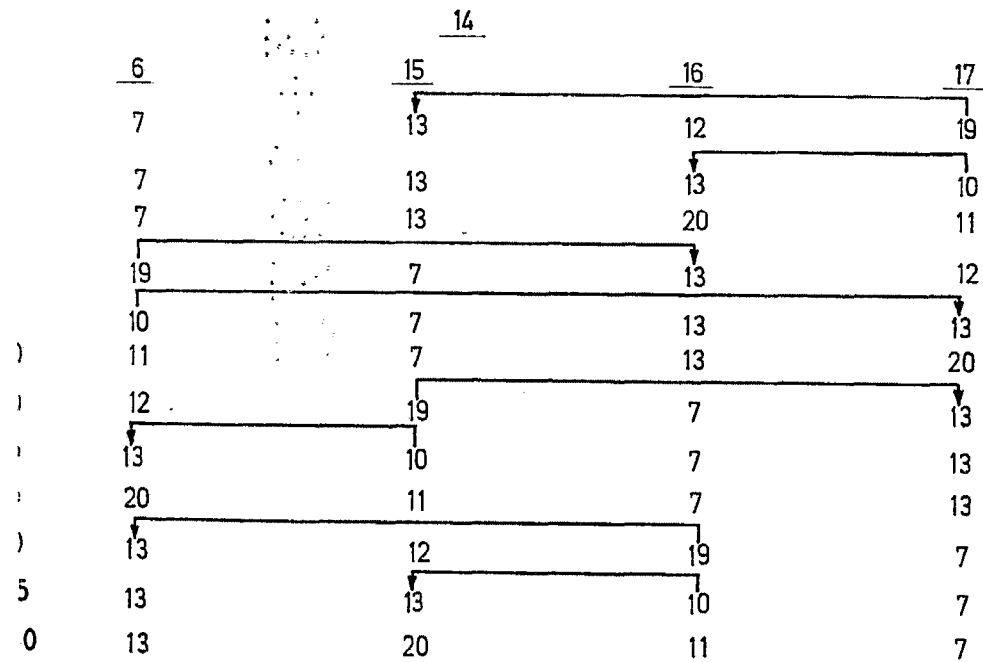
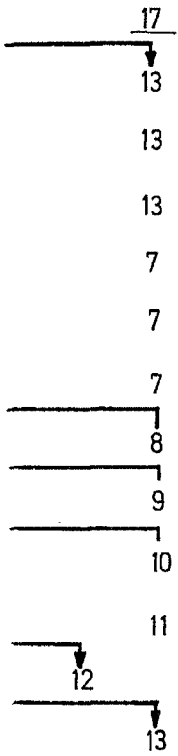


FIG.5

Alberto de Albornoz
F. de P. de C.

410887

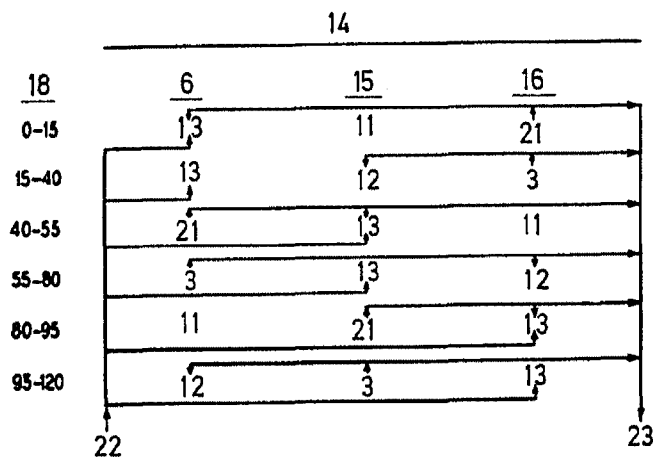


FIG. 7

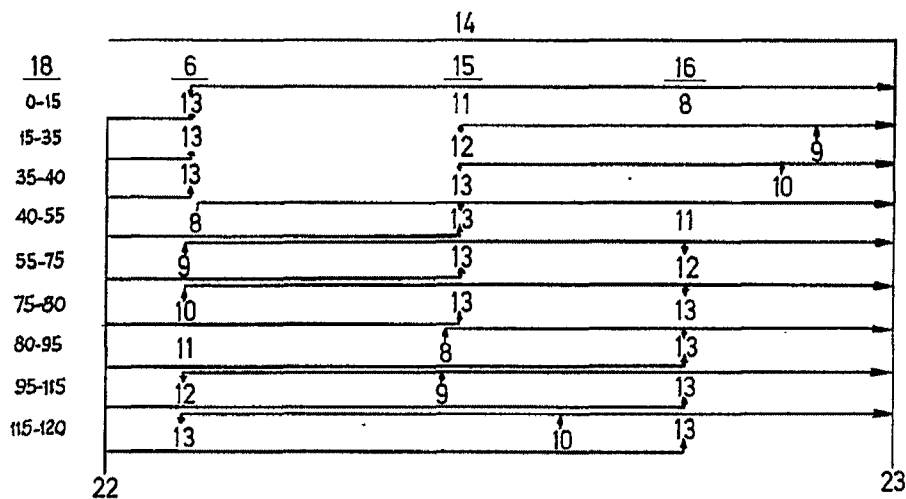


FIG. 8

Albert G. ...
 Albert G. ...
 ...