



Application Nº 292.238  
298.647, 321.272 &  
336.007 French Patent  
Nº 1.403.229

320156

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud

de

PATENTE DE INTRODUCCION

formulada el 30 de Noviembre de 1965, con el Nº 320.156

en

E S P A Ñ A

por DIEZ años

a nombre de ESSO RESEARCH AND ENGINEERING COMPANY, entidad norteamericana, establecida en Elizabeth, Nueva Jersey, Estados Unidos de América, por:

"UN APARATO Y UN PROCEDIMIENTO PARA ENRIQUECER EL CONTENIDO EN OXIGENO DE UN ESPACIO CERRADO ADECUADO PARA SER HABITADO POR SERES HUMANOS Y/O ANIMALES"

5 El presente invento se refiere a un procedimiento y a un aparato que sirven para controlar la atmósfera en zonas cerradas. En particular, concierne al control de una atmósfera gaseosa en zonas cerradas que pueden ser ocupadas, en particular, por seres humanos, y también por animales. El invento persigue igualmente el control de la atmósfera en el interior de zonas cerradas que están destinadas al almacenaje de alimentos, de flores y otros artículos



precederos. El invento es particularmente aplicable para controlar la cantidad de oxígeno en una zona cerrada tal como una habitación, una tienda, una construcción, etc..., estando destinada esta zona a ser ocupada por seres humanos.

5                   En un modo de realización preferido del invento, se ha concebido un procedimiento y un aparato gracias a los cuales es posible obtener en condiciones controladas una atmósfera enriquecida en oxígeno, que conviene particularmente bien para aquellos que han de sufrir un tratamiento médico. Habitualmente, es preciso que el aire respirado por personas que sufren enfermedades pulmonares, tales como el enfisema y alteraciones cardiacas de naturaleza congestiva, contengan hasta 50% de oxígeno, y habitualmente de 30 a 40% de oxígeno. Se comparará esta cifra con el contenido en oxígeno del aire que es de aproximadamente 21%. Hasta ahora, el enfermo que debía respirar aire con un contenido superior en oxígeno debía ser colocado en una tienda de oxígeno o debía utilizar un dispositivo respiratorio portátil que estaba conectado como la tienda, a una botella de oxígeno.

10  
15  
20                   Aunque el oxígeno puro en botellas haya sido utilizado para enriquecer directamente el aire de una habitación, los resultados obtenidos no fueron muy satisfactorios. Este oxígeno es muy costoso, requiere una manipulación importante y presenta un gran riesgo de explosión y de incendio. Además, las botellas o cilindros han de ser constantemente sustituidos. El procedimiento y el aparato conforme al invento son muy superiores en todos los aspectos mencionados, así como en otros aspectos.

25  
30                   No solo la nueva atmósfera obtenida cuando se pone en práctica el procedimiento y el aparato del invento, per-

320156



5 mite un tratamiento más eficaz de los enfermos, porque pueden ser tratados entonces sin ser encerrados en un recinto restringido, sino que aumenta todavía de una manera inmensurable la comodidad física y mental del enfermo. El invento permite obtener una atmósfera de aire acondicionado, enriquecida en oxígeno y agradable en la habitación misma donde vive el enfermo.

10 El procedimiento y el aparato conforme al invento, además de su utilidad en los seres humanos, tiene otras aplicaciones. Por ejemplo, la actividad de los animales domésticos puede ser regulada con vistas a una producción máxima utilizando técnicas de adsorción para regular de manera apropiada la relación oxígeno/nitrógeno en un establo u otra construcción destinada a los animales.

15 El procedimiento y el aparato conforme al invento pueden servir igualmente para aumentar la cantidad de  $CO_2$  en una habitación u otro espacio cerrado donde se almacenan carnes, frutas, flores o legumbres. En un invernadero o una construcción similar, el aire enriquecido en  $CO_2$  es utilizado para acelerar el crecimiento de las plantas.

20 Un modo de realización preferido del invento se describe brevemente a continuación.

25 Una unidad de adsorción sin caldeo, que puede ser colocada en una habitación o en el exterior de una habitación, está dispuesta de manera que una corriente de oxígeno concentrado, que constituye el efluente primario, sea descargada en la habitación, atravesando uno de los extremos de la unidad, y que el nitrógeno indeseable sea evacuado al exterior de la habitación. En el modo de realización especialmente preferido del invento, se ha elegido para la uni-

30



dad de adsorción sin caldeo, un adsorbente que adsorbe  $N_2$  y que deja pasar  $O_2$ . El adsorbente contenido en la unidad es sometido periódicamente a una expansión y purgado con una parte de producto. La expansión elimina la mayor parte del  $N_2$  contenido en el adsorbente. El resto es eliminado por la acción de la parte de producto utilizada para la purga. El gas de purga y el adsorbente desorbido que salen del adsorbente se denominan efluente secundario. Este es evacuado de la unidad y es enviado al exterior de la habitación.

En una variante, se pueden utilizar adsorbentes que tienen una selectividad frente al oxígeno. En un caso de esta clase, el efluente primario sale de la unidad para ganar el exterior de la habitación y el efluente secundario sale de la unidad para penetrar en la habitación.

Para adsorber el nitrógeno, adsorbentes apropiados comprenden los tamices del tipo 5A, 13 X y 10 X y del tipo de la chabasita y de la analcita, así como la alúmina, el gel de sílice, el carbón de madera, el grafito, la bentonita y productos análogos. Para adsorber el oxígeno, se pueden utilizar tamices moleculares del tipo 4A, por ejemplo.

Se comprenderá mejor el presente invento con la lectura de la descripción que sigue y que se ha hecho haciendo referencia al dibujo anejo, en el cual:

La figura 1 representa esquemáticamente un adsorbedor sin caldeo colocado en una caja;

la figura 2 representa esquemáticamente un aparato conforme al invento, e ilustra el emplazamiento del adsorbedor sin caldeo representado en la figura 1 con relación a una habitación;

la figura 3 representa esquemáticamente un aparato

320 156

conforme al presente invento y muestra el emplazamiento del adsorbedor sin caldeo de la figura 1 en el interior de una habitación;

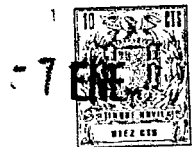
5 la figura 4 representa esquemáticamente un aparato conforme al presente invento y cómo un adsorbedor sin caldeo con un solo recipiente comunica con una habitación cuando funciona.

10 En el dibujo, la habitación está designada en todas las figuras por la referencia 30. Los adsorbedores sin caldeo de la figura 2 y de la figura 3 son idénticos por su construcción y su funcionamiento, y no difieren más que por su emplazamiento con relación a la habitación y el emplazamiento, que se deduce de esto, de los conductos de conexión.

15 En el adsorbedor sin caldeo de la figura 1, las referencias 1 y 2 designan, respectivamente, los recipientes del adsorbedor. Cada recipiente está destinado a contener una materia adsorbente que le llena sensiblemente en su totalidad y que tiene una selectividad preferente frente al nitrógeno.

20 Cada recipiente incluye conductos de conexión que permiten el paso de las sustancias gaseosas no tratadas o tratadas a través de los recipientes respectivos, así como al resto de la instalación. Las referencias 5 y 6 designan, respectivamente, conductos combinados de admisión y de purga destinados a los recipientes respectivos 1 y 2, y las referencias 7 y 8 designan de manera correspondiente conductos de descarga para el efluente primario. Cada conducto 5 y 6 está unido por su extremo exterior a una tubuladura de admisión común 9 y cada uno de los conductos 7 y 8 está unido a una tubuladura de evacuación común 10. Un conducto 11, por el cual la materia gaseosa inicial o carga a tratar es introducida en el sistema, está conectado a la tubuladura de ad-

30



misión 9, mientras que un conducto 12 está conectado a la tubuladura de evacuación 10 para la evacuación del efluente fuera de la instalación. En este caso, el efluente primario es aire enriquecido en oxígeno.

5 Las referencias 13 y 14 designan dos válvulas de inversión con tres lumbreras, unidas a la tubuladura 9, a uno y otro lado del punto en que el conducto de alimentación 1 está conectado con esta última, estando colocadas estas válvulas, respectivamente, entre este punto de conexión y los conductos 5 y 6. Válvulas de retención 9a y 9b están dis-  
10 puestas igualmente en la tubuladura 9, entre el punto de conexión del conducto de alimentación con esta tubuladura y las válvulas 13 y 14. Estas últimas están concebidas para no dejar pasar la materia gaseosa más que en la dirección in-  
15 dicada.

Conductos de evacuación 15 y 16 están previstos para la evacuación del efluente secundario fuera de los recipientes 1 y 2. Los conductos 15 y 16 comunican con un conducto de descarga común 17 por medio de una tubuladura de  
20 conexión 18.

Las válvulas 13 y 14 están concebidas de preferencia con vistas a una operación cíclica automática, con objeto de hacer comunicar alternativamente uno de los recipientes 1 y 2, por medio de su conducto de conexión respectivos 5  
25 ó 6 y de la tubuladura 9, con el conducto de alimentación 11 o con los conductos 15 y 16 de evacuación del efluente.

Los conductos 7 y 8 están conectados a la tubuladura 10 que está provista de conductos de ramificación 12 y 21. La ramificación 21 comprende un dispositivo de regulación 21a que asegura la descompresión. Este dispositivo 21a puede estar  
30 constituido por un regulador diferencial con válvula destinado a mantener una diferencia de presión relativamente constan-



5 te entre las lumbreras de admisión y de salida de la válvula. El sentido de circulación en la válvula 21a es el que se indica por la flecha. El conducto de ramificación transversal 22 comprende válvulas de retención 22a y 22b que pueden cerrarse para impedir la circulación a partir de los conductos 7 y 8 y abrirse con vistas a una circulación hacia estos conductos. Las válvulas de retención 7a y 8 a impiden que el gas circule en los conductos 7 y 8 en dirección de los recipientes 1 y 2.

10 El aparato de adsorción sin caldeo de la figura 1 está alojado de preferencia en una caja 24. Los conductos 11, 12 y 17 unen el adsorbedor colocado en la caja 24 con la atmósfera que rodea la envolvente 24. El aparato de la figura 1 funciona como sigue:

15 Aire bajo presión relativamente elevada penetra en el conducto 11 y pasa al recipiente 2 que contiene un producto apropiado que adsorbe el nitrógeno. El nitrógeno es adsorbido sobre el adsorbente contenido en el recipiente 2, el efluente primario es evacuado de este último por los  
20 conductos 8 y 19, y una gran parte de este efluente es evacuado del sistema por el conducto 12. Una pequeña fracción de este efluente circula en los conductos 21, 22 y 7 y pasa al recipiente 1 donde la presión es relativamente baja. Esta fracción del producto recoge los constituyentes de adsorción en el recipiente 1 y los arrastra a los conductos 5  
25 y 12 y al conducto 17 que los envía al exterior de la instalación. Periódicamente, se alternan los ciclos de manera que aire bajo presión sea introducido en los conductos 11 y 15 y en el recipiente 1, mientras que el efluente de purga secundaria, a una presión relativamente baja, sale al  
30 mismo tiempo del recipiente 2 pasando por el conducto 6 y el conducto 17.



En el aparato representado en la figura 2, el efluente primario enriquecido en oxígeno es enviado a la habitación a través del conducto 12. El aire del procedimiento es introducido por el conducto 11. La evacuación se hace por el conducto 17. En el aparato de la figura 3, el aire destinado a la unidad procede del exterior de la habitación donde penetra por el conducto 11. El aire evacuado es enviado al exterior de la habitación por el conducto 17. El conducto 11 podría estar dispuesto también en la habitación para que la carga que penetra en la unidad tenga un contenido en  $\text{CO}_2$  más elevado que el aire, infiltraciones en la habitación proporcionan cantidades de aire suplementarias.

En la figura 4, se ha representado un adsorbedor sin caldeo con un solo recipiente cuyo funcionamiento ha sido descrito en la patente Kennedy. Sin embargo, se expondrá aquí el modo de funcionamiento en la medida necesaria para permitir comprender la utilización única y particular a la cual se puede extender el medio general del invento que consiste en utilizar un adsorbedor. Una carga bajo presión es introducida en un conducto 40 de donde pasa a un lecho adsorbente 41 que está provisto de una materia adsorbente, preferentemente el nitrógeno, como, por ejemplo, tamices moleculares del tipo 5A. El aire desprovisto del nitrógeno que ha sido adsorbido en el lecho adsorbente 41, atraviesa bajo presión un conducto 42, un regulador de alimentación diferencial 43, un conducto 44 y llega a un recipiente de almacenaje 45. Una parte del producto que sale de este último puede penetrar en la habitación 30 pasando por un conducto 46. Esta parte del producto tiene un contenido en oxígeno mucho más elevado. Periódicamente, se re-



duce la presión en el conducto 40 y se deja que una parte del producto que sale del recipiente 45 vuelva al lecho 41 al cual arrastra el constituyente adsorbido por el adsorbente, constituyente que es principalmente nitrógeno, después de lo cual sale por el conducto 40.

Se sobreentiende que cualquier otro aparato que permita obtener un gas enriquecido que contiene oxígeno gracias a una adsorción, puede ser utilizado igualmente en la puesta en práctica del invento. El invento no reside en las características particulares del aparato que se emplea para producir oxígeno, sino, por el contrario, en el medio general que consiste en utilizar aire enriquecido en oxígeno, preparado por adsorción ambiente, en aplicaciones especiales, de preferencia médicas, como se describe aquí.

De una manera general, la unidad de adsorción sin caldeo puede estar dispuesta en la habitación o en el exterior de ésta. Funciona sobre un ciclo de presión comprendido entre 0 y 7 Kg/cm<sup>2</sup> (presión absoluta), por ejemplo entre 0 y 2,1 Kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa). De preferencia, el aire que se hace circular en el adsorbedor sin caldeo, en primer lugar, comprimido en un pequeño compresor y es enviado luego al aparato de adsorción sin caldeo donde una parte del nitrógeno es eliminada del aire y es evacuada a la atmósfera, exteriormente a la habitación. El aire enriquecido en oxígeno pasa a la habitación que es mantenida cerrada tan herméticamente como sea posible con el fin de reducir las rugas al mínimo. A título de ventaja suplementaria, el aire puede ser igualmente secado cuando atraviesa el aparato de adsorción sin caldeo, de manera que una atmósfera agradable, de poco contenido en humedad, puede

320156



ser mantenida en la habitación. Esta última puede ser calentada o enfriada por medio de aparatos de calefacción clásicos o de aparatos de enfriamiento por refrigeración.

5 Se comprenderá mejor el invento con la lectura del ejemplo no limitativo siguiente:

EJEMPLO 1

10 En una habitación de un volumen aproximadamente 28 m<sup>3</sup>, se introducen 932,4 dm<sup>3</sup>/minuto de oxígeno a 30% proporcionado por un adsorbedor sin caldeo, similar al que se ha descrito con relación a la figura 1. Esta introducción exige 588 dm<sup>3</sup>/minuto de aire proporcionado por un compresor a una presión (relativa) de 2,1 kg/cm<sup>2</sup>. Un compresor de una potencia nominal de, aproximadamente, 4 CV proporciona el aire comprimido y se utilizan aproximadamente 112 dm<sup>3</sup> 15 de un tamiz molecular 13A en el adsorbedor sin caldeo. El conducto de escape de este último está provisto de un silenciador para minimizar el nivel de ruidos si el adsorbedor sin caldeo está dispuesto en la habitación; por el contrario, si el enfermo lo desea, el aparato de adsorción entero puede estar dispuesto en el exterior de la habitación, es decir, cerca de una ventana y estar provisto de un solo tubo o conducto que atraviesa la ventana o un orificio practicado en el muro de la habitación y a través del cual el aire enriquecido en oxígeno es introducido.

25 En lo que concierne a la adsorción del nitrógeno, como se ha mencionado más arriba, adsorbentes apropiados comprenden los tamices moleculares de los tipos 5A, 3X, 10X; chabasita, analcita, así como la alúmina, el gel de sílice, el carbón de madera, el grafito, la bentonita, etc... Se ha 30 comprobado que, según otro modo de puesta en práctica del invento, tamices moleculares del tipo X que han sido sometidos a un cambio parcial con estroncio son particularmente eficaces. La cantidad de Sr<sup>++</sup> de sustitución en los tamices



de tipo X es de, aproximadamente, 20 a 80%, por ejemplo de 40% o más. Los tamices sometidos a un cambio con estroncio son particularmente eficaces en un ciclo de desorción bajo vacío. En lo que concierne a la adsorción del oxígeno, se pueden tutilizar tamices moleculares del tipo 4A, y tamices análogos. Sin embargo, los tamices del tipo 4A funcionan según una marcha máxima y una marcha rápida de los ciclos es necesaria.

En primer lugar, se ha tratado de aumentar el contenido en oxígeno en el aire de una habitación. Se ha decidido, pues, en primer lugar, construir una unidad relativamente pequeña para producir en esta habitación una atmósfera que contiene de 30 a 50% de  $O_2$ . Se ha decidido que una estructura razonable sería aquella que enriqueciera la atmósfera de una habitación de un volumen de 28 m<sup>3</sup> hasta un contenido en oxígeno de 30%, suponiendo un índice de desperdicio en la habitación de aproximadamente, 0,1 cambio de aire/hora. Aunque se ha tomado el contenido de 30% de oxígeno como base de estudio, debe subrayarse que los resultados sorprendentes obtenidos muestran que es posible poner en práctica los medios generales descritos en la presente exposición para obtener contenidos en oxígeno distintos de 30%.

Se ha construído una unidad real que sirve de prototipo, que incluía dos lechos adsorbentes de 99 cm de altura y de 13,45 cm de diámetro que contenían cada uno 9,980 kg de un tamiz del tipo 5A. La unidad comprendía un compresor "Nash" alimentado por una fuente de tensión de 110 voltios y cuyo motor de 2 CV consume 18 amperios para un rendimiento máximo que proporciona una presión (relativa)



de 2,1 kg/cm<sup>2</sup>.

5 Cuando esta unidad se utiliza para aumentar el contenido en oxígeno en una habitación, se comprueban varios hechos notables. En primer lugar, contrariamente a lo que se hubiera podido pensar, la mejor manera de enriquecer una habitación consiste en utilizar aire tomado del exterior de la habitación, evacuando a la vez el aire de desorción al exterior de la habitación. Este hecho es sorprendente porque, lógicamente, se hubiera podido pensar que utilizando el aire enriquecido en el interior de la habitación, 10 evacuando el aire desorbido al exterior de ésta, se hubiera procedido de la mejor manera para hacer funcionar la unidad con vistas a enriquecer el aire de la habitación.

15 Se ha comprobado que con cadencias de alimentación constantes pero cadencias de producción pequeñas, cuanto menor es la cadencia de producción, más elevado es el porcentaje de oxígeno en el producto e inversamente, cuanto más elevada es la cadencia de producción, menor es el porcentaje de oxígeno en el producto.

20 Se ha comprobado también que la cantidad total de oxígeno contenida en el producto no constituye el factor determinante. Por ejemplo, para una cadencia de producción de 1.680 dm<sup>3</sup>/hora, se puede tener oxígeno de una pureza de 50%, mientras que con una cadencia de producción de 25 4200 dm<sup>3</sup>/hora, se puede obtener una pureza del oxígeno de 32%. Si se calcula el volumen total de oxígeno para la cadencia de producción de 4200 dm<sup>3</sup>/hora, se comprueba que es de 48%; si el volumen total de oxígeno está calculado para la cadencia de producción de 1680 dm<sup>3</sup>/hora, se comprueba 30 que es de 30%. Se ha comprobado, sin embargo, que una ha-



bitación podría ser llevada rápidamente a un contenido en oxígeno deseado utilizando la cadencia de producción pequeña con una pureza elevada de oxígeno, incluso cuando hay una mayor cantidad de oxígeno por unidad de tiempo.

5

Finalmente, se ha comprobado que, una vez que el contenido en oxígeno en la habitación ha sido llevado a un valor deseado, este contenido podría ser mantenido más eficazmente en la habitación gracias a un índice de producción elevado, siendo la pureza del oxígeno en el producto aproximadamente la misma que en la habitación.

10

Las consideraciones citadas son de una importancia extremada porque, al utilizar estas cadencias de producción, se puede obtener una diferencia notable en lo que concierne al consumo de energía. Debido a que una cantidad del tipo descrito y otras unidades análogas funcionarían sin duda por lo menos varias horas al día, la energía diaria requerida y la reducción del consumo son cuestiones de un interés vital.

15

Para determinar la dimensión de una unidad que proporciona oxígeno utilizada con un fin médico, habida cuenta de las características de la habitación, tales como las infiltraciones y las fugas así como las dimensiones de esta habitación, se han efectuado comprobaciones matemáticas. Se ha comprobado que se podrían utilizar para conocer previamente el mejor modo de puesta en práctica de la unidad en condiciones de corta duración o pasajeras y en condiciones permanentes. Esto es importante porque algunas de las utilidades de la unidad de oxígeno en el ámbito médico son susceptibles de ser de naturaleza intermitente, cuando el enfermo no exige oxígeno enriquecido más que algunas horas diarias.

25

30



Una unidad de oxígeno médica deseable ha de ser capaz de dar la concentración en oxígeno deseada en una habitación en un tiempo razonable e igualmente de mantener este contenido en oxígeno en condiciones permanentes. Se han efectuado, en primer lugar, comprobaciones matemáticas para el periodo pasajero. Se han establecido ecuaciones diferenciales para un estado de corta duración o pasajero con el fin de conocer previamente las variaciones de la concentración en oxígeno en la habitación en función del tiempo, en los cuatro casos siguientes:

Caso I: Marcha sin reciclado (no hay infiltración de aire exterior en la habitación);

Caso II: Reciclado total con sustitución del aire evacuado de la unidad por aire exterior que se infiltra en la habitación;

Caso III: Reciclado parcial con sustitución del aire evacuado de la unidad asegurado por el aire de alimentación exterior (no hay infiltración de aire en la habitación);

Caso IV: Reciclado parcial, con sustitución del aire evacuado de la unidad asegurada por el aire de alimentación exterior, suponiendo que la infiltración de aire en la habitación es idéntica a la fuga de aire fuera de la habitación.

Para resolver las ecuaciones relativas a estas realizaciones, se ha utilizado el prototipo particular para una habitación de un volumen de 28 dm<sup>3</sup>. Los resultados están dados en la tabla I siguiente, siendo el contenido en oxígeno buscado de 30%.

320156



TABLA I

Caso número	Descripción	Infiltración de aire en la habitación, dm <sup>3</sup> /min.	Tiempo en horas para obtener 30% de O <sub>2</sub>	
5	I	Marcha sin reciclado	0	10
	II	Reciclado completo	4900	20
	III	Reciclado parcial	0	7
	IV	Reciclado parcial $\bar{x} \bar{x}$	1400	11

10

$\bar{x}$  - condiciones del proyecto: habitación de 28 dm<sup>3</sup>, unidad que introduce en la habitación 2,8 m<sup>3</sup>/h. de O<sub>2</sub> de una pureza de aproximadamente 35%;

$\bar{x} \bar{x}$  - suponiendo que la cantidad de aire infiltrada en la habitación es igual a la cantidad de aire que se escapa de esta habitación.

15

En teoría, el funcionamiento con reciclado parcial de la unidad con sustitución del aire evacuado por aire exterior (caso III), parece ser aquel que permite aumentar mas rápidamente el contenido en O<sub>2</sub> de la habitación para llevarlo de 21 a 30%, suponiendo que no se infiltre aire en la habitación. Sin embargo, el caso de una marcha sin reciclado es sin duda más práctico, porque es difícil mantener una pieza estanca a las fugas, con el sistema que comprende un reciclado y la sustitución del aire evacuado por aire procedente del exterior. Es así porque la habitación se encontraba siempre a una presión ligeramente inferior a la presión atmosférica. Una operación con reciclado real se encontraría en los casos II y III, como se ilustra por el caso IV en el cual una pequeña cantidad de aire infiltrada en la habitación ejerce el efecto notable de aumentar el tiempo necesario para enriquecer el aire de la habitación. Por

20

25

30

320156



-7

el contrario, la marcha sin reciclado tendería a aumentar la presión en la habitación y a reducir las infiltraciones de aire. Estos resultados hacen resaltar claramente la necesidad de conocer el comportamiento de la unidad en una habitación,

5 en curso de funcionamiento real. La elección del "modo de funcionamiento" es decir, la elección entre el reciclado y la marcha sin reciclado, no puede ser hecha más que cuando las características dinámicas de fuga de aire para una habitación típica han sido establecidas.

10 Las derivadas de las ecuaciones diferenciales que conciernen a las realizaciones matemáticas para los cuatro casos son las siguientes:

Previsiones que conciernen a las características relativas a condiciones pasajeras con vistas a obtener una atmósfera enriquecida en  $O_2$  en una habitación, con un fin mé-

15 dico

---

Caso I: Marcha sin reciclado

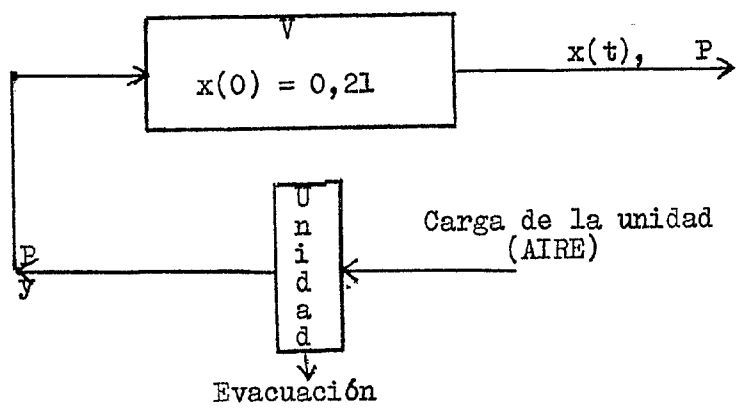
Definición de los términos:

- 20  $V$ = volumen de la habitación,  $m^3$
- $P$ = cadencia de producción de la unidad prototipo pre  
via,  $dm^3/hora$ .
- $t$ = Tiempo, horas
- $x(t)$ = fracción de  $O_2$  en la habitación, en moles, en el
- 25 tiempo  $t$
- $y$ = fracción media, en moles, de  $O_2$  en el producto que sale de la unidad.

320156



5



10

Base para las ecuaciones diferenciales

Mezcla perfecta

Caudal del producto formado en la unidad y enviado a la habitación igual al caudal del producto que abandona la habitación (no hay infiltraciones no controladas del aire exterior).

15

Ecuación diferencial de base para el sistema

$$\frac{dx}{dt} + \frac{P}{V} x(t) = \frac{P}{V} y$$

Solución general a la ecuación anterior:

$$-\left(\frac{P}{V}\right) t$$

20

$$x(t) = C_1 e$$

donde  $C_1$  es una constante.

Condiciones límites

$$x(0) = 0,21 \text{ en el momento } 0$$

$$C_1 = 0,21 - y$$

25

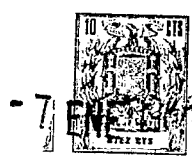
Ecuación específica

$$x(t) = \underbrace{(0,21 - y)e^{-\left(\frac{P}{V}\right) t}}_{\text{solución pasajera}} + \underbrace{y}_{\text{solución permanente}}$$

30

Caso II: Reciclado, estando la pérdida debida a la evacuación fuera de la unidad compensada por la in-

320 156



filtración de aire en la cámara.

Definición de los términos:

V= volumen de la habitación, m<sup>3</sup>

P= cadencia de producción de la unidad prototipo, previa, dm<sup>3</sup>/hora.

D= cadencia de escape o de pérdida fuera de la unidad, dm<sup>3</sup>/hora

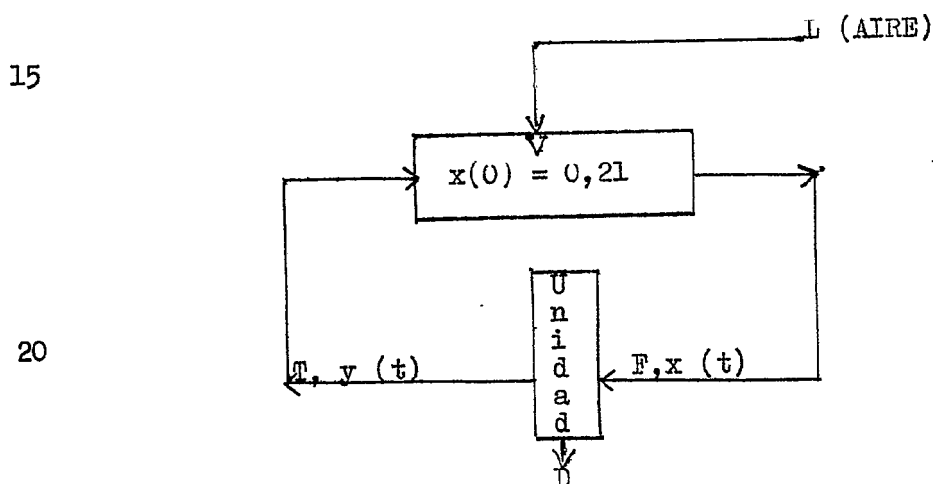
L= cadencia de infiltración en la habitación dm<sup>3</sup>/hora

F= cadencia de alimentación de la unidad, dm<sup>3</sup>/hora

t= tiempo, hora

10 x(t)= fracción de C<sub>2</sub>, en moles, en la habitación, en el tiempo

$\bar{t}$   
y( $\bar{t}$ )= fracción media de O<sub>2</sub> en moles, en el producto que sale de la unidad.



Base para ecuaciones diferenciales

Mezcla perfecta

25

Infiltraciones de aire en la habitación idénticas a la pérdida o la evacuación fuera de la unidad

Características de la unidad según datos obtenidos con una presión (relativa) de 2 kg/cm<sup>2</sup>.

30



$$y(t) = 0,15 + x(t)$$

$$E/P = 2,6$$

$$L = D = 1,6 P$$

Ecuación diferencial de base para el sistema

$$5 \quad \frac{dx}{dt} + \left(\frac{L}{V}\right) x(t) = 0,21\left(\frac{L}{V}\right) + 0,15\left(\frac{P}{V}\right)$$

Solución general de la ecuación anterior

$$x(t) = C_1 e^{-\left(\frac{L}{V}\right)t} + 0,21 + 0,15$$

Condiciones límites

$$10 \quad x(0) = 0,21 \text{ en el momento } 0$$

$$C_1 = \left(\frac{P}{L}\right) 0,15$$

Ecuación específica

$$15 \quad x(t) = \underbrace{\left(\frac{P}{V}\right) 0,15 e^{-\left(\frac{L}{V}\right)t}}_{\text{solución pasajera}} + \underbrace{0,21 + \left(\frac{P}{L}\right) 0,15}_{\text{solución permanente}}$$

Solución permanente para  $t$  infinito

$$x(\infty) = 0,21 + \left(\frac{1}{1,6}\right) 0,15 = 0,304$$

Este resultado muestra que un contenido de 30,4%

20 de  $O_2$  constituye un límite teórico para este sistema, según las características estimadas de la unidad.

Caso III: Reciclado, estando las pérdidas por escape fuera de la unidad compensadas por el aire exterior introducido en la unidad.

Definición de los términos:

25  $V$  = volumen de la pieza, m<sup>3</sup>.

$P$  = cadencia de producción de la unidad prototipo previa dm<sup>3</sup>/hora.

$D$  = cadencia de evacuación de la unidad o pérdidas dm<sup>3</sup>/hora.

30  $E$  = cadencia de alimentación del aire exterior en la unidad dm<sup>3</sup>/hora.

320156



$F$  = cadencia de alimentación combinada en la unidad,  $(P + E)$ ,  
 $\text{dm}^3/\text{hora}$ .

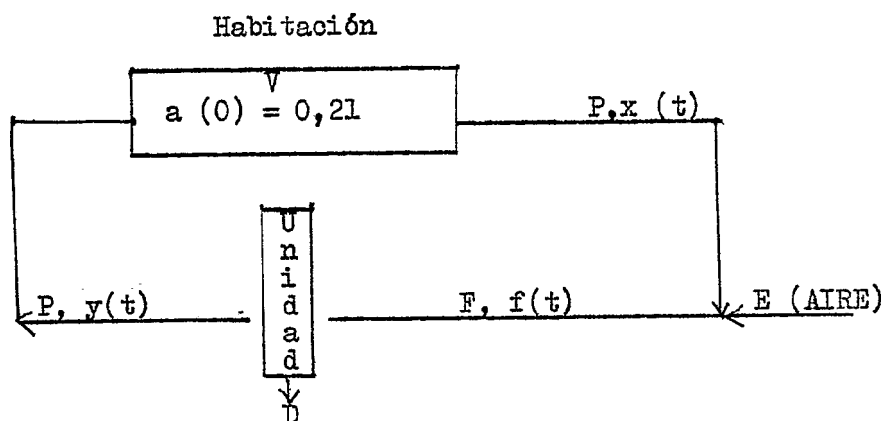
$t$  = tiempo, horas

$x(t)$  = fracción, en moles, de  $O_2$  en la habitación, en el  
 tiempo  $t$

$y(t)$  = fracción media, en moles, de  $O_2$  en el producto que  
 sale de la unidad.

$f(t)$  = fracción, en moles, de  $O_2$  en la carga combinada en-  
 viada a la unidad.

10



15

Base para ecuaciones diferenciales

Mezcla perfecta

20

Habitación perfectamente estanca a las fugas, de manera que  
 la cantidad de producto de la unidad que penetra en la habi-  
 tación es igual a la cantidad de producto que sale de esta  
 habitación.

Características de la unidad estimadas según datos obtenidos  
 a  $2 \text{ Kg/cm}^2$  (presión relativa).

25

$$y(t) = 0,15 + f(t)$$

$$F/P = 2,6$$

$$E = D + 1,6 P$$

Ecuación diferencial de base para el sistema

30

$$\frac{dx}{dt} + \left(\frac{PE}{F}\right) X(t) = 0,21 \left(\frac{PE}{FV}\right) + 0,15 \left(\frac{P}{V}\right)$$



Solución general a la ecuación anterior

$$x(t) = C_1 e^{-\left(\frac{PE}{FV}\right)t} + 0,21 + 0,15 \left(\frac{F}{E}\right)$$

Condiciones límites

$x(0) = 0,21$  en el tiempo 0

$$C_1 = 0,15 \left(\frac{F}{E}\right)$$

Ecuación específica

$$x(t) = \underbrace{0,15 \left(\frac{F}{E}\right) e^{-\left(\frac{PE}{FV}\right)t}}_{\text{solución pasajera}} + \underbrace{\left[0,21 + 0,15 \left(\frac{F}{E}\right)\right]}_{\text{solución permanente}}$$

Solución permanente para t igual a infinito

$$x(\infty) = 0,21 + 0,15 (1,625) = 0,454$$

Este resultado muestra que un porcentaje de 45,4% de  $O_2$  es el límite teórico para este sistema. Una comparación de los casos II y III muestra que es importante reducir las fugas en la habitación en un sistema con reciclado.

Caso IV: Reciclado, estando compensadas las pérdidas de la unidad por el aire exterior introducido en la unidad incluidas las infiltraciones en la habitación.

Definiciones de los términos:

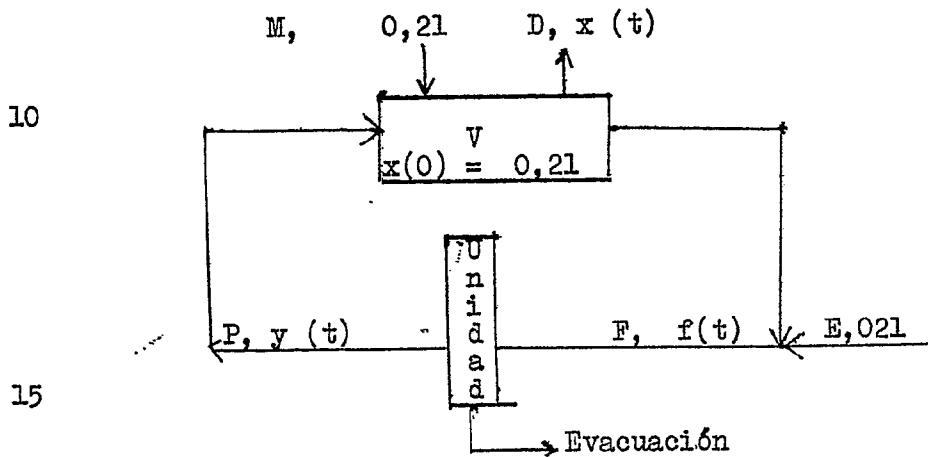
- V = volumen de la habitación m<sup>3</sup>
- P = cadencia de producción de la unidad prototipo previa, dm<sup>3</sup>/hora
- M = infiltración del aire exterior en la habitación, dm<sup>3</sup>/hora
- D = gas que escapa de la habitación, dm<sup>3</sup>/hora
- L = reciclado desde la habitación hasta la unidad, dm<sup>3</sup>/hora
- E = aire exterior introducido en la unidad, dm<sup>3</sup>/hora



F = cadencia de alimentación combinada en la unidad, dm<sup>3</sup>/hora  
 x(t) = fracción, en moles, de O<sub>2</sub> en la habitación, en el momento t

y(t) = fracción media, en moles, de O<sub>2</sub> en el producto que sale de la unidad

f(t) = fracción, en moles, de O<sub>2</sub> en la carga combinada introducida en la unidad



Base para ecuaciones diferenciales

Mezcla perfecta. Características de la unidad para una operación a una presión (relativa), de 2,1 kg/cm<sup>2</sup>, P = aproximadamente 2800 dm<sup>3</sup>/hora y(t) = 0,15 + f(t)

Ecuación diferencial básica para el sistema

$$\frac{dx}{dt} \times \left[ \left( \frac{D + L}{V} \right) - \left( \frac{PL}{VF} \right) \right] x(t) = 0,15 \left( \frac{P}{V} \right) + 0,21 \left( \frac{PE}{VF} \right) + 0,21 \left( \frac{M}{V} \right)$$

Solución general a la ecuación anterior

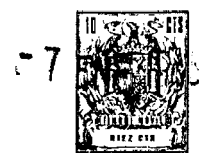
$$-bt + \left( \frac{a}{B} \right)$$

Donde  $b = \left[ \left( \frac{P + L}{V} \right) - \left( \frac{PL}{VF} \right) \right]$

$$a = 0,15 \left( \frac{P}{V} \right) + 0,21 \left( \frac{PE}{VF} \right) + 0,21 \left( \frac{M}{V} \right)$$

Condiciones límites

320156



x (0) = 0,21 en el tiempo 0

$$C_1 = 0,21 - \left(\frac{a}{b}\right)$$

Ecuación específica

5

$$x(t) = \underbrace{\left[0,21 - \frac{a}{b}\right]}_{\text{solución temporal}} e^{-bt} + \underbrace{\left(\frac{a}{b}\right)}_{\text{solución permanente}}$$

Este modo de realización del invento será mejor comprendido con la lectura de la descripción que sigue y que se hace con referencia a las figuras 5 a 10 del dibujo anejo, en el cual:

10 La figura 5 representa esquemáticamente la unidad de oxígeno utilizada en el ámbito médico, descrita en los ejemplos relativos a este modo de realización y utilizada para obtener los datos presentados en esta exposición;

15 la figura 6 representa un programa de ciclo para un ciclo preferido de 90 segundos que se utiliza en la unidad de oxígeno médica de la figura 5; en esta figura, RBPE designa una reducción de presión hasta la obtención de una igualación de presión en los lechos y ABPE designa un aumento de presión con el mismo fin; D= descarga; P= purga; R= recompresión; PR= producto; C= carga, siendo las cifras indicadas encima de los rectángulos presiones (relativas) en kg/cm<sup>2</sup> e indicando las cifras llevadas a la derecha tiempos del ciclo, en segundos;

20

25 la figura 7 es un gráfico que muestra la relación entre la cadencia de producción de la unidad (llevada a las abscisas en dm<sup>3</sup>/hora) y el porcentaje medio de O<sub>2</sub> en el aire que constituye el producto (llevado a las ordenadas, en %);

30 la figura 8 es un gráfico que muestra las características pasajeras determinadas previamente para una habitación de un volumen de 24 m<sup>3</sup>, en el caso de un ciclo de



90 segundos ejecutado a 29 - 35°C y de una marcha sin reciclado; en esta figura, se ha llevado la cadencia de producción de la unidad, en m<sup>3</sup>/hora, a las abscisas, y el tiempo, en horas, necesario para obtener una concentración de 30% de O<sub>2</sub>, a las ordenadas; las cifras llevadas sobre las rectas son los porcentajes, en moles, de O<sub>2</sub> en el producto de la unidad, y las curvas indican las características de la unidad prototipo, correspondiendo la curva A a una presión de 1,60 kg/cm<sup>2</sup> y un caudal de alimentación de 10.080 dm<sup>3</sup>/hora, correspondiendo la curva B a una presión de 1,75 kg/cm<sup>2</sup> y un caudal de alimentación de 9185 dm<sup>3</sup>/hora, correspondiendo la curva C a una presión de 1,90 kg/cm<sup>2</sup> y a un caudal de alimentación de 8510 dm<sup>3</sup>/hora y correspondiendo la curva D a una presión de 2 Kg/cm<sup>2</sup> y un caudal de alimentación de 7700 dm<sup>3</sup>/hora; esto, suponiendo que no hay infiltración del aire exterior: el caudal de aire proporcionado a la habitación por la unidad es igual a la cadencia de fuga fuera de la habitación;

la figura 9 representa de manera bastante esquemática una operación con marcha sin reciclado, para una habitación de un volumen de 24 dm<sup>3</sup>, y esta figura es un diagrama que ofrece en las abscisas la cadencia de producción de la unidad en dm<sup>3</sup>/hora, y en las ordenadas los tiempos (en horas) necesarios para obtener una concentración de 30% en O<sub>2</sub> (en la parte inferior) y la concentración máxima de O<sub>2</sub> en la habitación (en %, en la parte superior), representando las rectas en la parte superior derecha del gráfico las cadencias de infiltración del aire exterior (M) en dm<sup>3</sup>/hora, designando las letras P.E. la habitación utilizada para la prueba y designando las letras CFTP la cadencia de fuga total;



c-7

5 la figura 10 es un gráfico relativo a las condiciones que reinan en la habitación en el curso de la prueba (estando el porcentaje de  $O_2$  llevado a las ordenadas, en la parte superior del gráfico y estando el porcentaje de humedad llevado igualmente a las ordenadas en la parte inferior del gráfico, en función del tiempo en horas, llevado a las abscisas, siendo la presión de 2 kg/cm<sup>2</sup> para 1680 dm<sup>3</sup>/hora para 50% de  $O_2$  y siendo de 1,6 kg/cm<sup>2</sup> para 320 dm<sup>3</sup>/hora para 33% de  $O_2$ .

10 Se explicará el funcionamiento de la unidad haciendo referencia a las figuras 5 y 6, Unos lechos 101 y 102 están unidos por su extremo de alimentación por medio de una válvula 103 con cinco lumbreras y cuatro vías, y por su parte superior por medio de una válvula de purga 104 y un orificio de purga 105 así como por una válvula 106 de 15 igualación de presión en los lechos (válvula BPE). El producto sale de los lechos 101 y 102 por conductos 107 y 108, atravesando válvulas de retención 109 y 110 y pasa a la habitación circulando en un conducto 111 para el producto. 20 El dispositivo de compresión y de separación representado en 112 es un compresor análogo al que ha sido descrito más arriba.

25 Estudiando el programa de los ciclos comenzando por el extremo de la izquierda, se ve que el lecho 101 está en periodo BPE y el lecho 102 está en periodo BPE, lo que significa que la válvula BPE 106 está abierta y que los lechos 101 y 102 comunican así libremente gracias a los conductos 113 y 114. La presión (relativa) que reina en el lecho 101 es llevada de un valor de 2,1 kg/cm<sup>2</sup> a 30 un valor de 1,05 kg/cm<sup>2</sup> y la presión que reina en el lecho



102 es aumentada y pasa de un valor nulo a un valor de  
1,05 kg/cm<sup>2</sup>. En la fase siguiente del ciclo, la lumbrera  
115 se abre, lo que hace que la presión (relativa) en el  
lecho 101 puede ser llevada de 1,05 kg/cm<sup>2</sup> a un valor nu-  
5 lo, yendo acompañada esta reducción de una descarga de las  
materias absorbidas a través del conducto 116, la lumbrera  
115 y el conducto de evacuación 117. Al mismo tiempo, la  
presión es restablecida en el lecho 102 gracias al aire  
que sale del compresor 112 por un conducto 118, atrave-  
10 sando la válvula 103 por el orificio 119 y el conducto  
20 para penetrar en el lecho 102. De esta manera, cuando  
la presión (relativa) en el lecho 101 es llevada de 1,05  
kg/cm<sup>2</sup> a un valor nulo, el lecho 102 es comprimido de  
nuevo y su presión (relativa) pasa de 1,05 a 2,1 kg/cm<sup>2</sup>.  
15 Durante los ciclos de evacuación y de compresión, la vál-  
vula BPE 106, la válvula de purga 104 y el orificio de  
purga 105 están cerrados. En el curso de la fase siguien-  
te del ciclo, la válvula de prueba 104 se abre, lo que  
hace que una parte del producto que sale del lecho 102  
20 pueda circular en los conductos 114, 121 y 113 y pasar al  
lecho 101, que atraviesa recogiendo los constituyentes ad-  
sorbidos, después de lo cual sale pasando por el conducto  
116, la lumbrera 115 y el conducto de evacuación 117. Al  
mismo tiempo, el producto procedente del lecho 102 circula  
25 en el conducto 108, atraviesa la válvula 110 y penetra en  
la habitación pasando por el conducto 111.

Al final de esta fase del ciclo, la válvula BPE  
106 está abierta y el aire comprimido cesa de circular en el  
conducto 118. La presión (relativa) en el lecho 101 pasa de  
30 un valor nulo a 1,05 kg/cm<sup>2</sup> y la presión (relativa) en el



lecho 102 pasa de 2,1 a 1,05 kg/cm<sup>2</sup>. El aire comprimido comienza de nuevo a circular en el conducto 118, penetra en la válvula 103 por la lumbrera 122, pasa al conducto 116 y penetra en el lecho 101, estando la válvula BPE 106 y la válvula de purga 104 cerradas. Por este hecho, la presión (relativa) que reina en el lecho 101 pasa de 1,05 a 2,1 kg/cm<sup>2</sup>. Al mismo tiempo, el lecho 102 comunica con el exterior por la lumbrera 123, lo que hace que los constituyentes adsorbidos puedan salir pasando por el conducto 120, la válvula 103, la lumbrera 123 y el conducto de evacuación 117.

Cuando la presión (relativa) en el lecho 101 alcanza 2,1 kg/cm<sup>2</sup>, el producto sale de este lecho pasando por el conducto 107 y la válvula 109 y penetra en la habitación pasando por el conducto 111. Al mismo tiempo, la válvula de purga 104 es abierta, lo que hace que una parte del producto pueda atravesar el conducto 113, la válvula de purga 104, el conducto 121 y el conducto 114 para penetrar en el lecho 102 donde arrastra el resto de los constituyentes adsorbidos, haciéndoles pasar por el conducto 120 y la lumbrera 123, para salir finalmente de la habitación por el conducto de evacuación 117. Al final de esta fase del ciclo, el lecho 101 está a una presión (relativa) de 2,1 kg/cm<sup>2</sup> y la presión (relativa) en el lecho 102 es nula.

Este modo de realización del invento se ilustra más por los ejemplos siguientes. El aparato utilizado en estos ejemplos es el que se ha descrito más arriba y las condiciones son las que se han mencionado más arriba, salvo indicación contraria.

320156



EJEMPLO 2

5 En este ejemplo, el ciclo de funcionamiento de la unidad tiene una duración de noventa segundos (como se ha descrito más arriba). La presión (relativa) varía entre 1,60 y 2 kg/cm<sup>2</sup> para una variación correspondiente de la ca-

10 dencia de alimentación del aire de 10.000 a 7.700 dm<sup>3</sup>/hora. La relación existente entre la cadencia de producción y la composición está representada en la figura 7.

15 Se puede ver examinando la figura 7, que haciendo caer la presión (relativa) de 2 kg/cm<sup>2</sup>, a 1,60 kg/cm<sup>2</sup>, las cadencias de producción pueden ser aumentadas en aproximadamente 50% con relación a los 2.800 dm<sup>3</sup> establecidos sin disminución de la pureza de O<sub>2</sub> producido con relación al valor proyectado (32 % en lugar de 35% de O<sub>2</sub>). Sin embargo, si se desea aumentar la cadencia de producción de O<sub>2</sub>, la mejor manera de obtener este resultado es aumentar la presión y operar con cadencias de producción menores.

EJEMPLO 3

20 Para determinar el efecto de la variación de la longitud del ciclo, se efectúa una prueba con un ciclo de 60 segundos. La presión (relativa) utilizada en la unidad es de 1,75 kg/cm<sup>2</sup> y la cadencia de producción de 2800 dm<sup>3</sup>/hora. Las fases de igualación de presión del lecho (BPE) y de compresión siguen inalteradas para las dos longitudes

25 del ciclo. Solo los tiempos de carga y de producción son determinados por la duración del ciclo. Los resultados están dados en la tabla II siguiente:

TABLA II

30

	<u>Longitud del ciclo</u>	
	<u>60 seg.</u>	<u>90 seg.</u>
Cadencia de producción dm <sup>3</sup> /hora	2800	2800
% de O <sub>2</sub>	38-1/4	38

320156



Este experimento muestra que modificaciones de la duración del ciclo carecen de importancia y que la duración del ciclo puede ser elegida por razones de comodidad. En general, duraciones del ciclo comprendidas entre 10 y 300 segundos, de preferencia entre 50 y 200 segundos, y de preferencia todavía entre 70 y 120 segundos, se utilizan en el procedimiento del invento.

EJEMPLO 4

Se determina previamente el comportamiento de la unidad en una habitación de un volumen de 24 m<sup>3</sup>, determinando las características de producción de oxígeno de la unidad basándose en el modelo de marcha sin reciclado. El gráfico correspondiente aparece en la figura 8.

Los resultados muestran que se obtiene un punto mínimo para cada presión (cadencia de la alimentación). Cuando la presión aumenta, el tiempo mínimo para alcanzar el 30% de O<sub>2</sub>, en la habitación de un volumen de 24 dm<sup>3</sup>, disminuye. Las condiciones óptimas para una operación pasajera comprenden una presión (relativa) de 2 kg/cm<sup>2</sup>, una cadencia de alimentación de 7700 dm<sup>3</sup>/hora y una cadencia de producción de 1260-1680 dm<sup>3</sup>/hora. De esto resulta una producción de 60 a 50% de O<sub>2</sub> y un tiempo correspondiente, para obtener 30% de O<sub>2</sub>, de 5 a 5,5 horas, suponiendo que el aire exterior no penetre en la habitación. Los emplazamientos de los puntos mínimos de la unidad prototipo están igualmente incorporados a la realización matemática. Se han tenido en cuenta las infiltraciones de aire exterior en la habitación para obtener un realismo más completo.

Estos resultados muestran que la cadencia de



7 EN

fuga del aire puede ser crítica, especialmente cuando se opera con cadencias de producción elevadas de la unidad. Estos efectos son sensiblemente menores cuando el funcionamiento de la unidad es llevado a una cadencia para un índice de pureza elevado. Otra ventaja de una cadencia débil de producción es el porcentaje elevado de  $O_2$  en la habitación para condiciones constantes. Por ejemplo, un porcentaje de 50 a 60% de  $O_2$  en las condiciones constantes, es teóricamente posible con cadencia de producción pequeñas (1120 a 1680 dm<sup>3</sup>/hora), suponiendo que no existe fuga de aire. Esto se opone a las concentraciones de 30 a 35% de  $O_2$  obtenidas a cadencias de producción más elevadas comprendidas entre 3080 y 3360 dm<sup>3</sup>/hora. Naturalmente, la infiltración de aire tiene un efecto señalado en el porcentaje de  $O_2$  en la habitación. Los resultados reales para una habitación de un volumen de 24 m<sup>3</sup> están representados en la figura 9.

EJEMPLO 5

Se efectúan pruebas iniciales operando en marcha sin reciclado en una habitación moderadamente calafateada, es decir, que las principales fisuras y rendijas de los muros y parquet así como los conductos de calefacción por circulación de aire forzada están obturados. Se mide la desaparición progresiva del helio mientras la unidad funciona y mientras la unidad no funciona. Esta técnica bien conocida de medición de las cadencias de fuga consiste en inyectar helio por impulsos en la habitación y en medir la variación de la concentración del helio en función del tiempo con ayuda de un espectrofotómetro de masas. Las cadencias de fuga determinadas por esta técnica no conciernen más que a la fuga del aire fuera de la habitación. Para calcular la infiltración del



aire exterior en la habitación, es preciso hacer el balance de material. La cadencia de fuga fuera de la habitación es de 4200 dm<sup>3</sup>/hora, mientras la unidad funciona o no funciona. Se han efectuado pruebas suplementarias después de haber calafateado perfectamente la habitación, incluida la ventana, la puerta, los orificios de salida en las paredes y los conmutadores, etc., y se ha comprobado que el índice de fuga no era más que de 3360 dm<sup>3</sup>/hora.

Los resultados de pruebas que conciernen a las condiciones de funcionamiento de la unidad concuerdan de manera perfecta con los que habían sido previstos de acuerdo con la realización matemática. Por ejemplo, hacen falta nueve horas para que el contenido en oxígeno en la habitación sea llevado de 21 a 30% contra las 8,5 horas previstas para una cadencia de fuga de 4200 dm<sup>3</sup>/hora. Reduciendo la cadencia de fuga a 3360 dm<sup>3</sup>/hora, el tiempo necesario para obtener 30% de O<sub>2</sub> disminuye en aproximadamente 2,5 horas. La concentración máxima de O<sub>2</sub> que puede ser mantenida es de 32-35% según la cadencia de fuga. Los resultados de estas pruebas están dados en la tabla III siguiente.

TABLA III

		<u>Marcha sin reciclado</u> ■	
		<u>Valores medidos</u>	<u>Valores previstos</u>
	<u>L= 4200 dm<sup>3</sup>/hora</u> ■ ■		
25	tiempo antes de obtener 30% de O <sub>2</sub>		
	horas	9	8 ½
	% máximo de O <sub>2</sub>	32	33
	<u>I= 3360 dm<sup>3</sup>/hora</u> ■ ■		
30	tiempo antes de obtener el 30% de O <sub>2</sub>		
	horas	6 1/2	6 3/4
	% máximo de O <sub>2</sub>	35	36

320156



■ presión (relativa) de  $2\text{Kg}/\text{cm}^2$ ,  
cadencia de producción =  $1680\text{ dm}^3/\text{hora}$   
de  $\text{O}_2$  a aproximadamente 50%.

5 ■ cadencia de fuga total a partir de  
la habitación.

10 Se piensa que el mantenimiento del 35% de  $\text{O}_2$  cons-  
tituye un límite superior práctico para la unidad prototipo  
previa en esta habitación particular. Concentraciones en  $\text{O}_2$   
más elevadas en la habitación podrían ser obtenidas redu-  
ciendo la dimensión de la habitación y utilizando la unidad  
existente, o bien utilizando una unidad que tenga dimensio-  
nes mayores para una habitación de un volumen de  $24\text{ m}^3$ . Estos  
15 resultados muestran que la realización matemática constitu-  
ye un útil muy eficaz para prever la duración de enriqueci-  
miento de la atmósfera de una habitación, una vez que las  
capacidades de la unidad y las características de fuga fue-  
ra de la habitación han sido establecidas.

#### EJEMPLO 6

20 Se efectúa una operación de prueba con reciclado  
parcial. A este efecto, se une un conducto de reciclado  
que parte de la habitación al lado de la aspiración del com-  
presor de alimentación. Además, se incorpora un conducto de  
llevada de aire exterior de aportación con el fin de que  
25 caudales combinados de reciclado y de aportación permitan  
obtener el caudal de alimentación deseado.

30 Se efectúa la prueba con reciclado después de  
haber calafateado rigurosamente la habitación. El caudal de  
reciclado es de  $2520\text{ dm}^3/\text{hora}$  para el aire procedente de  
la habitación y enviado de nuevo a la unidad. Las condicio-  
nes establecidas para la unidad comprenden una presión (rela-



tiva) de 2 kg/cm<sup>2</sup> (caudal de alimentación de 7700 dm<sup>3</sup>/hora) y una cadencia de producción de 1.680 dm<sup>3</sup>/hora.

Los resultados de esta prueba muestran que se precisan trece horas para alcanzar el 30% de O<sub>2</sub>, o sea casi el doble del tiempo necesario en la operación en marcha continua, estando la habitación calafateada hasta el mismo grado. Los resultados dados a continuación en la tabla IV muestran además que la realización matemática concuerda perfectamente con los resultados medidos.

10

TABLA IV

	<u>Marcha sin reciclado</u>		<u>Marcha con reciclado</u>	
	<u>Valores medidos</u>	<u>Valores previstos</u>	<u>Valores medidos</u>	<u>Valores previstos</u>
Tiempo para conseguir el 30% de O <sub>2</sub> , horas	6	6 3/4	13	12,9
15 % de máximo de O <sub>2</sub>	35	36	31	31
cadencia de infiltración del aire exterior en la habitación	-----1680-----		-----3220-----	

15

■ habitación de un volumen de 24 m<sup>3</sup> calafateada de la misma manera para cada operación.

20

La razón por la cual la operación con reciclado parcial necesita un tiempo más largo para obtener el 30% de O<sub>2</sub> en esta prueba, reside fundamentalmente en el hecho de que la cadencia de infiltración de aire a 21% de O<sub>2</sub> en la habitación es notablemente más elevada para la operación de reciclado. Este resultado se debe al hecho de que el aire enriquecido tomado en la habitación y que pasa al conducto de reciclado se traduce en una presión ligeramente más baja en la habitación que durante la operación con marchas sin reciclado. Por consiguiente, una infiltración de aire

25

30

en la habitación por pequeñas fisuras no obturadas, etc.,

5 aumenta suficientemente para dominar la ventaja obtenida in-  
troduciendo concentraciones en O<sub>2</sub> más elevadas en la unidad  
de adsorción. Naturalmente, si la infiltración de aire ex-  
terior en la habitación fuera la misma en los dos casos, la  
operación con reciclado sería entonces más interesante. Sería  
preciso entonces reducir la infiltración del aire exterior  
en 50% para la operación con reciclado, lo que requeriría un  
calafateado, o una obturación mejor que todo lo que ha podi-  
do obtenerse.

10 EJEMPLO 7

Se efectúa una prueba en una habitación para cono-  
cer las condiciones óptimas requeridas para mantener una con-  
centración de oxígeno del 30% en una habitación. A este efec-  
to, se hace funcionar la unidad a una presión baja (cadencia  
de alimentación elevada) con una cadencia de producción de  
15 3920 dm<sup>3</sup>/hora para 33% de O<sub>2</sub>. Estas condiciones son aquellas  
que se imponen después de una prueba de corta duración con  
marcha sin reciclado, siendo el contenido en O<sub>2</sub> de 35%,  
la temperatura de 24°C y el contenido en humedad relativa  
de 46% en la habitación.

Los resultados dados en la figura 10 muestran  
que una concentración de 30% de O<sub>2</sub> es mantenida durante el  
periodo de esta fase de la prueba, o sea más de 24 horas.  
La temperatura de la habitación durante la prueba varía en-  
tre 24 t 22° C mientras que el índice o grado de humedad  
que era inicialmente de 46%, cae a 39%, nivel al cual es  
mantenido para la mayor parte de las pruebas. Las condicio-  
nes de cadencia de alimentación elevada y de poca pureza  
presentan la ventaja suplementaria de un gasto menos elevado  
cuando se utiliza el compresor Nash conocido, dado que una  
operación a presiones más bajas reduce el consumo de energía

320156



del compresor (18 amperios para una presión de 2 kg/cm<sup>2</sup> contra 15 amperios para una presión de 1,6 kg/cm<sup>2</sup>).

Se han ejecutado otras pruebas de mantenimiento de la atmósfera de una habitación para determinar el efecto de pequeñas perturbaciones en la habitación y de su ocupación por seres humanos en las condiciones que reinan en la habitación sometida a la prueba. En esta prueba, las condiciones comprenden una cadencia de alimentación elevada, una pureza pequeña y una marcha sin reciclado. En estas pruebas, se obtienen las perturbaciones en la habitación abriendo la puerta en varias ocasiones durante un periodo de 5 minutos. De esto resulta una disminución del contenido en O<sub>2</sub> en la habitación de 0,5% solamente, siendo recuperada esta cantidad en 1/2 hora. En un momento, se hace entrar tres personas en la habitación de prueba donde permanecen durante aproximadamente de 5 a 10 minutos antes de abandonarla. El resultado es una reducción de 0,5% del contenido en O<sub>2</sub>, un aumento de la temperatura de 1,1°C, y una elevación del índice de humedad de 5% (pasando este índice de 39 a 44%). Las condiciones vuelven a su valor inicial en la habitación después de una hora solamente. Por consiguiente, operaciones de corta duración en la habitación tales como la apertura y el cierre de puertas y la llegada y la salida de varias personas no tienen más que un efecto menor sobre la concentración de O<sub>2</sub>, la temperatura y la humedad.

Se han determinado los efectos de la ocupación de una habitación en condiciones atmosféricas. Una persona que ha pasado tres horas en la habitación ha mencionado que había experimentado una sensación refrescante y vivificante sin acumulación de olor. El índice de humedad relativa había pasado de 40 a 62% durante este lapso de tiempo y no se ha notado ninguna acumulación de CO<sub>2</sub>. En general,

se pueden calcular las concentraciones de CO<sub>2</sub> y los índices de humedad para condiciones permanentes con un grado de precisión razonable.

5 El presente invento puede ser puesto en práctica naturalmente con aparatos, procedimientos y técnicas de separación de los constituyentes de una mezcla gaseosa. En particular, el invento puede ser puesto en práctica para separar el oxígeno del nitrógeno y, más particularmente para separar el oxígeno y el nitrógeno del aire con vistas  
10 a formar una corriente enriquecida en nitrógeno y una corriente enriquecida en oxígeno que se puede utilizar en las diversas aplicaciones mencionadas más arriba. A este respecto, el invento conviene particularmente bien para la producción de corrientes de aire enriquecidas en oxígeno y relativamente sedas que convienen para acondicionar  
15 la atmósfera en recintos serrados utilizando una técnica de adsorción que comprende un ciclo bajo vacío.

Como ya se ha mencionado, una de las aplicaciones del invento reside en el acondicionamiento de una atmósfera gaseosa en el interior de recintos cerrados que  
20 comprenden, no solo los recintos cerrados o cercados que convienen para la habitación de los seres humanos, sino también aquellos que convienen para la habitación de animales así como para cultivar plantas y microbios. El  
25 invento puede permitir igualmente acondicionar la atmósfera en recintos cerrados en los cuales se almacenan flores, alimentos y otros artículos perecederos.

En general, la adsorción sin caldeo se caracteriza por duraciones de adsorción y de desorción relativamente  
30 cortas, de manera que el calor de adsorción se encuentra



conservado y es utilizado como fuerza motriz para facilitar la desorción. En general, un ciclo completo que comprende fases de adsorción así como desorción tiene una duración comprendida entre 5 y 300 segundos, de preferencia entre 40 y 150 segundos, y de preferencia todavía entre aproximadamente 60 y 120 segundos.

De preferencia, se procede a una operación de igualación de las presiones en el lecho entre las fases de adsorción y de desorción del ciclo cuando se utiliza simultáneamente por lo menos dos recipientes de adsorción. Cuando el procedimiento es puesto en práctica en un solo recipiente, se puede suprimir la operación de igualación de las presiones en el lecho (BPE). Un programa de ciclo, típico, cuando dos recipientes de adsorción son utilizados, está en la tabla X. Los tiempos de la operación BPE pueden estar comprendidos entre un segundo y un tiempo tan largo como lo permita el ciclo total. Generalmente, están comprendidos entre 1 y 20 segundos, de preferencia entre 3 y 12 segundos, y más preferentemente, entre 3 y 8 segundos.

Aunque las presiones de adsorción pueden tener un valor tan elevado como se desee con vistas a separar  $O_2/N_2$  del aire atmosférico, no existe ventaja real en utilizar presiones de adsorción muy superiores a la presión atmosférica. Una presión de adsorción apropiada está comprendida entre 1,05 y 84 kg/cm<sup>2</sup>, de preferencia entre 1,05 y 3,5 kg/cm<sup>2</sup> y, más preferentemente, entre 1,05 y 1,4 kg/cm<sup>2</sup> (presiones absolutas). Para la desorción, una presión nula (en mm de Hg) podría ser utilizada ventajosamente a condición de que pueda ser obtenida sin dificultad. Una presión de desorción apropiada está comprendida entre 0,1 y 750 mm, de preferencia



entre 50 y 400 mm y, más preferentemente, entre 100 y 200 mm. de Hg. (presión absoluta).

5 Una característica particular del invento se refiere a la aplicación de la desorción bajo vacío en un procedimiento de adsorción en el curso del cual ciertos constituyentes son adsorbidos en un adsorbente y el adsorbente es regenerado periódicamente, gracias a lo cual puede ser utilizado en otra operación de adsorción después de la desorción del adsorbente. La técnica enseña numerosas maneras de desorber un adsorbente pero en el presente invento la desorción bajo vacío  
10 constituye la técnica particularmente preferida. Por desorción bajo vacío se entiende una desorción efectuada a cualquier presión inferior a la presión atmosférica.

Aunque para describir un modo de realización específico del invento se ha descrito una desorción bajo vacío en  
15 lo que concierne al tamiz molecular del tipo 13X que ha sido sometido a un cambio con estroncio, se entiende que los medios generales descritos aquí son aplicables a cualquier adsorbente cuando el constituyente a eliminar por desorción presenta una isoterma que aumenta bruscamente en la zona por debajo  
20 de la presión atmosférica. El constituyente a enriquecer debe tener una isoterma cuya pendiente es menor que la de un constituyente desorbido y que es además esencialmente lineal o presenta una concavidad hacia arriba.

25 Los tamices moleculares que pueden ser utilizados en el procedimiento del invento comprenden, de una manera general, los tamices moleculares de los tipos X y A en los cuales aproximadamente del 30 a 100 por 100, de preferencia de 60 a 100 por 100 y, más particularmente, de 75 a 98 por 100,  
30 cationes sodio, han sido sustituidos por cationes de un metal



divalente del grupo II o cationes de plata monovalentes. Cuanto más elevado es el grado de sustitución, mayor es la capacidad. De preferencia, los cationes de un metal del grupo II, son  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Sr^{++}$  y  $Ba^{++}$ .

5                    Para un tamiz de tipo X, se prefieren particularmente los cationes  $Ca^{++}$ ,  $Sr^{++}$  y  $Ag^+$ , siendo preferidos especialmente los cationes  $Sr^{++}$  y  $Ca^{++}$  y siendo el catión  $Sr^{++}$  preferido a todos, Para un tamiz de tipo A, se prefiere los cationes  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Sr^{++}$  y  $Ag^+$ .

10.                  La temperatura preferida para separar  $O_2/N_2$  del aire está comprendida entre aproximadamente 1,5 y 38°C, porque a temperaturas inferiores a 1,5°C la congelación del vapor de agua contenido en el aire plantea un problema. De manera todavía más preferible, la temperatura en cuestión está comprendida entre 7 y 27°C y, más preferentemente, entre 14 y 25°C. Sin embargo, las temperaturas podrían estar comprendidas entre -23 y 43°C.

15                    Una de las ventajas del procedimiento del invento cuando es puesto en práctica en la producción de aire enriquecido en  $O_2$  reside en el hecho de que, cuando aire ordinario que contiene vapor de agua constituye un producto de partida o carga, la mayor parte del vapor de agua es eliminada igualmente, lo que permite obtener aire relativamente seco enriquecido en  $O_2$ .

20                    Se regenera el adsorbente reduciendo la presión en el lecho, luego purgando el producto. Relaciones preferidas entre la purga y la carga (P/F) están comprendidas entre 0,2 y 2,0, siendo preferidas especialmente relaciones comprendidas entre 0,5 y 1,5 y siendo particularmente preferidas relaciones comprendidas entre 0,7 y 1,0. P/F se define como

25

30



la relación entre el volumen del producto de purga y el volumen de carga en las condiciones respectivas de la zona de adsorción.

5 En un modo de realización preferido específico del invento, se utiliza un procedimiento y un aparato que hacen mucho más fácil la obtención de atmósferas controladas, enriquecidas en oxígeno, en un recinto cerrado. Este modo de realización conviene particularmente bien cuando  $O_2$  es necesario para un tratamiento médico. Se sobreentiende, sin embargo, que los gases obtenidos por el procedimiento de separación del invento pueden ser utilizados en un gran número de aplicaciones industriales como lo comprenderán los técnicos.

15 El procedimiento descrito hasta aquí comprende la utilización de un aparato con un ciclo de adsorción a una presión (relativa) comprendida entre 2,1 kg/cm<sup>2</sup> y un valor nulo, utilizando un tamiz molecular 5A como adsorbente. Este ciclo se denomina en lo que sigue, "ciclo clásico" (lo que no significa por ello "conocido del público").

20 El procedimiento que comprende un ciclo "clásico" ofrece purzas en oxígeno en el producto de 30 a 40% para una producción neta de oxígeno de aproximadamente 150 cm<sup>3</sup> de oxígeno por 100 g de adsorbente a 21°C. Estos resultados para esta clase de ciclo son típicos para tamices moleculares industriales tales como los tamices 13X, 5A y 10X, cuando se  
25 utilizan con un ciclo que comprende una adsorción a 2,1 kg/cm<sup>2</sup> y una desorción a una presión nula (presiones relativas).

30 Se han hecho estudios ulteriores para conocer el valor de diversos adsorbentes en lo que concierne a su capacidad para el nitrógeno. Para comenzar estos estudios, se ha



5

evaluado la capacidad de diversos tamices moleculares que incluyen un esqueleto A o un esqueleto X y cuyos cationes están constituidos principalmente por iones sodio, sustituyendo estos últimos por otros cationes. Después de la sustitución con estos otros cationes, se ha determinado la capacidad de estos adsorbentes frente al nitrógeno y el oxígeno. Los resultados están dados en la tabla V siguiente:

TABLA V

Resumen de las isotermas de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> para tamices moleculares (21°C)

		Capacidades, gramos de gas/100 g. de tamiz							
Esqueleto "X"		Li	Na	K	C/a	Mg	Ca	Sr	Ba
N <sub>2</sub> aprox.	0,35 kg/cm <sup>2</sup>	0,88	1,20	0,68	0,50	0,83	2,02	2,22	1,34
	1,05 kg/cm <sup>2</sup>	1,36	1,70	0,96	0,75	1,16	2,36	2,78	1,79
	2,1 kg/cm <sup>2</sup>	1,98	2,40	1,45	1,13	1,66	2,80	3,33	2,44
O <sub>2</sub> aprox.	0,35 kg/cm <sup>2</sup>	0,43	0,43	0,40	0,42	0,40	0,76	0,73	0,64
	1,05 kg/cm <sup>2</sup>	0,67	0,73	0,59	0,61	0,61	1,08	1,15	1,01
	2,1 kg/cm <sup>2</sup>	1,07	1,17	0,96	0,97	0,97	1,56	1,72	1,50
Esqueleto "A"									
N <sub>2</sub> , aprox.	0,35 kg/cm <sup>2</sup>	0,86	1,15	Nada	-	1,95	1,93	1,72	Nada
	1,05 kg/cm <sup>2</sup>	1,28	1,60	Nada	-	2,41	2,57	2,24	Nada
	2,1 kg/cm <sup>2</sup>	1,83	2,21	Nada	-	3,04	3,24	2,85	Nada
O <sub>2</sub> , aprox.	0,35 kg/cm <sup>2</sup>	0,46	0,47	Nada	-	0,62	0,74	0,63	Nada
	1,05 kg/cm <sup>2</sup>	0,68	0,70	Nada	-	0,94	1,12	0,92	Nada
	2,1 kg/cm <sup>2</sup>	1,08	1,10	Nada	-	1,47	1,65	1,42	Nada
Propiedades de los cationes									
Peso molecular		6,94	23,0	39,1	132,9	24,3	40,1	87,6	137,4
Radio iónico		0,78	0,98	1,33	1,65	0,78	1,06	1,27	1,43
Capacidad de polarización		0,2	0,5	2,2	6,3	0,3	1,4	2,3	4,3
Número del grupo periódico		----- IA -----				----- IA -----			

320156



	Esqueleto "X"	Cd	Ni	Co	Zn	Pb	Ag	
5	N <sub>2</sub> , aprox.	0,35 kg/cm <sup>2</sup>	0,92	0,75	0,69	0,50	1,68	
		1,05 kg/cm <sup>2</sup>	1,23	1,10	0,95	0,79	1,97	
		2,1 kg/cm <sup>2</sup>	1,63	1,59	1,40	1,18	2,40	
	O <sub>2</sub> , aprox.	0,35 kg/cm <sup>2</sup>	0,39	0,38	0,35	0,34	0,27	0,47
		1,05 kg/cm <sup>2</sup>	0,58	0,60	0,57	0,59	0,40	0,79
		2,1 kg/cm <sup>2</sup>	0,90	0,96	0,86	0,91	0,61	1,20
	Esqueleto "A"							
	10	N <sub>2</sub> , aprox.	0,35 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0,60	2,30
			1,05 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0,88	2,64
2,1 kg/cm <sup>2</sup>			-	-	-	1,24	2,95	
O <sub>2</sub> , aprox.		0,35 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0,48	-	0,62
		1,05 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	0,70	-	0,94
		2,1 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	1,09	-	1,33
5	Propiedades de los cationes							
	Peso molecular	112,4	58,7	58,9	65,4	207,2	107,9	
	Radio iónico	1,03	0,78	0,82	0,83	-	1,13	
	Capacidad de polarización.	2,4	0,3	0,3	0,3	-	3,0	
20	Grupo periódico No.	IIB	VIII	VIII	IIB	IVA	IB	

Estos resultados muestran que, entre todos los cationes probados, tanto monovalentes como divalentes, el catión divalente estroncio dá la capacidad máxima para el nitrógeno y se puede considerar, por consiguiente, que posee las propiedades necesarias para una reacción mú-  
tua máxima con la molécula de nitrógeno gaseoso.

Se observará igualmente de acuerdo con la tabla V que el tamiz A de bario no posee ninguna capacidad para N<sub>2</sub> u O<sub>2</sub>. El tamiz X al bario es similar al tamiz 13X (forma sódio) en lo que concierne a la capacidad para N<sub>2</sub>, pero la capacidad para O<sub>2</sub> del tamiz X de bario es más elevada que la del tamiz 13X que muestra resultados mediocres en lo que concierne a las separaciones O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Se sabe que los tamices 13X son inferiores a los tamices de estroncio. El tamiz X de calcio es casi tan satisfactorio como el tamiz X de estroncio.

Se ha comprado este tamiz molecular X de estroncio, que se obtiene después de haber sometido un tamiz molecular 13X del comercio a un



cambio de iones con cloruro de estroncio, con diversos adsorbentes constituidos por tamices moleculares, en el curso de un ciclo de adsorción ejecutado a una presión de aproximadamente 0 a 2,1 kg/cm<sup>2</sup>. Contrariamente a lo que se hubiera podido pensar, el tamiz 13X que ha sido sometido a un cambio de iones con el estroncio se comporta de manera absolutamente similar al tamiz 13X en las condiciones específicas de un ciclo de adsorción ejecutado a una presión (relativa) de 0,20 a 2,1 kg/cm<sup>2</sup>, a 21°C, como se puede ver en la tabla VI siguiente:

10

TABLA VI

Tamiz	Producción neta de O <sub>2</sub> a O <sub>2</sub> -2,1 kg/cm <sup>2</sup>	Pureza del producto obtenido en un ciclo a aproximadamente 21°C, %O <sub>2</sub>
5A	122	32
13X	104	31
10X	85	30
X-Sr	98	31

15

cm<sup>3</sup> a una temperatura y una presión normalizadas /100 g de tamiz.

20

En realidad, el tamiz molecular 13X de estroncio (X-Sr) es un poco inferior a ciertos otros tamices moleculares sometidos a una prueba como adsorbentes. Este tamiz es casi el menos bueno en lo que concierne a la producción neta de oxígeno y, en lo que concierne a la pureza del producto, no es mejor que el tamiz molecular 13X (forma de sodio) y es un poco inferior al tamiz molecular 5A (forma de calcio).

25

La característica esencial de este modo de realización del invento reside en el hecho de que se ha puesto a punto una técnica que utiliza los tamices X de estroncio y los otros tamices preferidos del invento de una manera extremadamente eficaz.

30

320156



Así, se ha comprobado que utilizando un ciclo bajo vacío, se pueden aprovechar las capacidades elevadas del tamiz X de estroncio (X-Sr.). Debe subrayarse que utilizando el tamiz X de estroncio de una manera clásica, los resultados obtenidos no exceden del término medio. Los resultados extraordinarios obtenidos con el procedimiento del invento fueron absolutamente inesperados y absolutamente imprevisibles antes de la puesta a punto del presente invento. Los experimentos del invento descrito aquí muestran que la capacidad de un adsorbente solo, como muestran las isothermas, no constituye una medida de la aptitud de los adsorbentes para separar constituyentes; por el contrario, es la forma y la pendiente relativas de las isothermas de los constituyentes las que delimitan la zona en la cual las presiones de adsorción y de desorción deben ser elegidas con vistas a una separación óptima de los compuestos.

El ciclo de adsorción sin caldeo "clásico" para la producción del oxígeno recurre a una fase de adsorción a una presión (relativa) elevada, por ejemplo 2,1 a 3,5 kg/cm<sup>2</sup>, y a una fase de desorción a la presión atmosférica. La fase de desorción comprende una operación de expansión hasta 0 kg/cm<sup>2</sup>, por ejemplo, seguida de una operación de purga a la presión atmosférica. En el ciclo "clásico", es preciso utilizar un compresor para comprimir los lechos con vistas a la fase de adsorción. Por el contrario, el ciclo bajo vacío del invento no necesita compresor, dado que los lechos de adsorbente están comprimidos con aire a la presión atmosférica. Una simple máquina soplante utilizada para la operación de carga dá el producto deseado, rico en oxígeno. Sin embargo, para la fase de desorción, es preciso utilizar una bomba de vacío o un aspirador para las operaciones de expansión y de purga del lecho.

320156



El interés del ciclo bajo vacío depende de la elección de las condiciones de trabajo apropiadas que son requeridas para un ciclo práctico. Dado que la característica limitativa reside en la utilización de una bomba de vacío, un vacío moderado de 200 mm de Hg o 0,275 Kg/cm<sup>2</sup> (presión absoluta) se elige como presión de desorción razonable para bomba de vacío industriales poco costosas. Para obtener un punto de partida razonable, se han elegido las condiciones siguientes para ejecutar un estudio:

10	Temperatura	32°C
	Presión (relativa) de adsorción	0 kg/cm <sup>2</sup>
	Presión de desorción	200 mm de Hg
	Relación purga/carga	0,7

La figura 11 es una representación esquemática de este modo de realización específico de la unidad de oxígeno del presente invento.

La figura 12 es una representación esquemática de un aparato experimental que sirve para valorar los diversos adsorbentes y muestra las condiciones de tratamiento en las cuales se miden las capacidades netas para O<sub>2</sub>.

La figura 13 es un gráfico que muestra los resultados de impulsos de presión en el aparato experimental de la figura 12, en lo que concierne a los diferentes tamices moleculares; (estando llevados los tiempos en minutos a las abscisas y el % de O<sub>2</sub> a las ordenadas);

La figura 14 es un gráfico que muestra diversas isothermas de adsorción del nitrógeno y del oxígeno sobre diversos tamices; (estando llevada la presión relativa en Kg/cm<sup>2</sup> encima de la línea de abscisas y la presión absoluta en kg/cm<sup>2</sup> debajo de esta línea, mientras que la capacidad del tamiz está lleva-

320156



da a las ordenadas, en g/100 g).

La figura 15 es un esquema de un programa típico de los ciclos, para un ciclo de 90 segundos, a una presión de 200-760 mm. de Hg, teniendo las letras los mismos significados que las de la figura 6.

5

Se explicará el funcionamiento de la unidad haciendo referencia a la figura 11. Los lechos 201 y 202 están reunidos en su extremo de alimentación por una válvula 203 de cuatro vías y con cinco lumbreras y en su parte superior por una válvula de purga 204 y un orificio de purga 205, así como por una válvula de igualación de presión (BPE) 206. El producto primario, es decir, el aire enriquecido en  $O_2$ , sale de los lechos 201 y 202 por conductos 207 y 208 atravesando válvulas de retención 209 y 210 y pasando por un conducto 211 para el producto, Un ventilador soplante 212 asegura la obtención de la presión necesaria para proporcionar aire bajo la presión atmosférica a los lechos adsorbentes a través de la válvula 203.

10

15

Comenzando por la fase de igualación de presión que forma parte del programa cíclico, el lecho 201 está en periodo BPE y el lecho 202 está en periodo BPE, lo que significa que la válvula BPE 206 está abierta y que los lechos 201 y 202 comunican así libremente por medio de los conductos 213 y 214. La presión que reina en el lecho 201 y que es esencialmente igual a la presión atmosférica, está reducida a aproximadamente 500 mm de Hg y la presión que reina en el lecho 202 es aumentada y pasa de 200 mm de Hg a aproximadamente 500 mm de Hg. Durante la fase siguiente del ciclo, una lumbrera 215 se abre, lo que hace que la presión en el lecho 201 pueda ser llevada de 500 a 200 mm de Hg, tomando una bomba de vacío 212A las materias absorbidas haciéndolas pasar por un

20

25

30

320156



conducto 216, la lumbrera 215 y el conducto 217. Al mismo tiempo, el lecho 202 es comprimido con el aire atmosférico que es enviado a un conducto 218, atraviesa una válvula 203 y una lumbrera 219 y circula en un conducto 220 para llegar al lecho 202.

5

De esta manera, cuando la presión en el lecho 201 es llevada de 500 a 200 mm. de Hg, el lecho 202 es recomprimido y su presión pasa de 500 mm de Hg a un valor de 0 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa). Durante las operaciones de evacuación y de recompresión del ciclo, la válvula BPE 206 y la válvula de purga 204 están cerradas. En el curso de la fase siguiente del ciclo, el aire atmosférico es impulsado a través del conducto 218, la lumbrera 219 y el conducto 220 al lecho adsorbente 202 por el ventilador soplante 212. Durante esta parte del ciclo, la válvula de purga 204 está abierta, lo que hace que una parte del producto primario procedente del lecho 202 pueda circular en los conductos 214 y 221, atravesar el orificio de purga 205 y la válvula 204 y llegar por el conducto 213 al lecho 201 que este producto atraviesa recogiendo los constituyentes adsorbidos, después de lo cual es aspirado por la bomba de vacío que le hace pasar a través del conducto 216, la lumbrera 215 y el conducto de descarga 217. Al mismo tiempo, el producto primario procedente del lecho 202, es decir, el aire enriquecido en O<sub>2</sub>, circula en el conducto 208, atraviesa la válvula 210 y sale por el conducto 211.

10

15

20

25

Al final de esta fase del ciclo, la válvula de purga 204 está cerrada, la válvula BPE 206 está abierta y la circulación del aire atmosférico en el conducto 218 cesa a consecuencia del cierre de la lumbrera 219, así como de

30

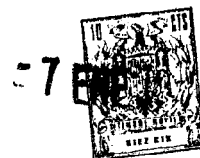


la lumbrera 215. La presión en el lecho 201 pasa de un valor de 200 mm de Hg a aproximadamente 500 mm de Hg y la presión en el lecho 202 pasa de un valor de 0 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa) a un valor de aproximadamente 500 mm de Hg. La circulación del aire atmosférico se reanuda en el conducto 218 y este aire llega a la válvula 203, atraviesa la lumbrera 222, circula en el conducto 216 y llega al lecho 201, estando la válvula BPE 206 y la válvula de purga 204 cerradas. Por este hecho, la presión que reina en el lecho 201 aumenta y pasa de aproximadamente 500 mm de Hg a 0 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa). Al mismo tiempo, la bomba de vacío 212A ejerce una aspiración en el lecho 202, lo que hace que los constituyentes adsorbidos puedan pasar al conducto 220, atravesar la válvula 203 y la lumbrera 223 y salir por el conducto 217.

15 Cuando la presión en el lecho 201 alcanza 0 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa), el producto sale del lecho 201 por el conducto 207, atraviesa la válvula 209 y es recuperado por el conducto 211. Al mismo tiempo, la válvula de purga 204 está abierta, lo que hace que una parte del producto pueda ser aspirada y pase por el conducto 213, la válvula de purga 204 y los conductos 221 y 214 para llegar al lecho 202 para arrastrar el resto de los constituyentes adsorbidos en el conducto 220 y la lumbrera 223 con vistas a su descarga por el conducto de evacuación 217. Al final de esta fase del ciclo, el lecho 201 está a una presión (relativa) de 0 kg/cm<sup>2</sup> y el lecho 202 está a una presión de 200 mm de Hg.

25 El invento es ilustrado todavía por los ejemplos siguientes. En todos estos ejemplos, se ha preparado un tamiz X de estroncio con vistas a un estudio por procedimientos discontinuos clásicos de cambios de iones que utilizan

30



5 tamices moleculares 13X del comercio (forma de sodio) de esqueleto del tipo X) y soluciones de cloruro de estroncio. El cambio de los iones estroncio con el tamiz 13X alcanza un índice de aproximadamente 85 a 95% de sustitución de los iones sodio.

#### EJEMPLO 8

10 En este ejemplo, como en ciertos otros ejemplos, se ha utilizado la unidad con tamiz adsorbente (T.A.) de impulsos de la figura 12 para conocer el valor del medio general de los ciclos bajo vacío. Con este aparato, un lecho adsorbente inicialmente equilibrado con aire en circulación a una presión baja es llevado a una presión un poco más elevada.

15 El proceso experimental es el siguiente. Se activa el adsorbente a probar calentándolo a 316°C durante dos horas, con ayuda de dispositivos calentadores eléctricos (D.C.E.), purgándolo a la vez con helio seco. Se enfría el reactor a 21°C y se purga con aire seco. La presión es mantenida a un valor constante de 0,35 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa) con un regulador de contrapresión que mantiene un caudal constante del efluente. Se comprueba la concentración en O<sub>2</sub> con ayuda de un analizador de oxígeno (A.O.) que trabaja sobre el efluente. Se aumenta bruscamente la presión de admisión para hacerla pasar a 2,1 kg/cm<sup>2</sup> durante la admisión y al regulador de contrapresión. A este efecto, se utilizan 20 válvulas de solenoides (S.S.) y /S.S.) y reguladores de contrapresión que funcionan en paralelo, a una presión (relativa) respectiva de 0,35 y 2,1 kg/cm<sup>2</sup>. Cuando la composición del aire es alcanzada de nuevo, se reduce bruscamente la presión para llevarla a 0,35 kg/cm<sup>2</sup>. El ciclo de presiones an- 25 30

320156



terior se repite a intervalos de tiempo idénticos.

La curva resultante de los impulsos de  $O_2$  es una representación cualitativa satisfactoria de la aptitud de los adsorbentes para separar el oxígeno del nitrógeno. La zona situada bajo la curva de los impulsos, encima de la composición del aire entrante (21% de oxígeno) es una medida cuantitativa de la capacidad de producción de nitrógeno o de la capacidad neta de producción de oxígeno que está dada en oxígeno  $X_s$  o en producción neta de  $O_2$  ( $cm^3$  a la temperatura y la presión normalizadas por 100 g. de adsorbente). Resultados típicos concernientes a este ejemplo y que ilustran los ciclos de presión y de vacío están resumidos en la tabla VII siguiente (véase igualmente la figura 13, en la cual se ha llevado el tiempo a las abscisas, en minutos, y el porcentaje de oxígeno a las ordenadas) estando establecida la curva A para una presión de 0 a 2,1 kg/cm<sup>2</sup> con un tamiz 5A a 21°C y la curva B para una presión de 3 mm. de Hg a 0,14 kg/cm<sup>2</sup> con un tamiz X-Sr a 21°C.

TABLA VII

	<u>Ciclo bajo vacío</u> <u>X-Sr. ■</u>	<u>Ciclo clásico</u> <u>■</u>
$O_2 X_s$ , aprox. 21°C	240	120
Pureza máxima de $O_2$ , vol.% de $O_2$	87	31
■ 3 mm de Hg. a 0,14 kg/cm <sup>2</sup>		
■ tamiz 5A, 0 a 2,1 kg/cm <sup>2</sup> .		

La zona grande situada bajo la curva de impulsos ( $O_2 \times S$ ), la pureza máxima de  $O_2$  sensiblemente más elevada y el frente de adsorción brusca ilustrados en la figura 13 muestran las ventajas notables del ciclo bajo vacío conforme al invento en el cual se utiliza un tamiz X de estroncio.

320156

EJEMPLO 9

(Ejecutado en un aparato similar al que se ilustra en la figura 11.).

5 Se ejecuta un ciclo bajo vacío con un tamiz X de estroncio, de una duración de 90 segundos así como un ciclo "clásico" con un tamiz 5A con vistas a comparar el ciclo bajo vacío con un tamiz de estroncio y el ciclo "clásico" con un tamiz 5A. La pureza del producto para los dos ciclos se regula a 72% de O<sub>2</sub>. En este caso, el ciclo bajo vacío con un  
10 tamiz X-Sr es puesto en práctica a una presión de adsorción (relativa) de 0,35 kg/cm<sup>2</sup> para facilitar la recuperación del producto enriquecido en O<sub>2</sub> y el control de este producto. Los resultados están dados en la tabla VIII siguiente:

TABLA VIII

15	<u>Ciclo bajo vacío tamiz X-Sr</u>	<u>Ciclo clásico tamiz 5A</u>
	Gama de presiones	200 mm Hg/35 kg/cm <sup>2</sup> . 0 kg/cm <sup>2</sup> -2,1 kg/cm <sup>2</sup>
	Duración del ciclo, segundos	_____ 90 _____
	Pureza del producto, % de O <sub>2</sub>	_____ 72 _____
20	Cadencia de producción, dm <sup>3</sup> /kg/hora	66,2 50, aprox.
	Recuperación % de O <sub>2</sub>	56 41

■ estimado de acuerdo con los resultados de una unidad clásica de producción de O<sub>2</sub>.

25 Según la tabla VIII anterior, se puede ver que el ciclo bajo vacío que utiliza un tamiz X de estroncio aumenta las cadencias de producción y de recuperación de oxígeno a razón de por lo menos 30% con relación al ciclo "clásico".

30 Se observará que se utilizan aire de partida seco y lechos más largos (1,5 metros) en el estudio de la unidad

**320156**



5 piloto de tamiz X-Sr y que su presencia contribuye en una  
cierta medida a la obtención de resultados más interesantes.  
Se han obtenido los resultados del ciclo "clásicos" con le-  
chos de 99 cm y aire de partida húmedo. Sin embargo, se pue-  
de ver que, incluso teniendo en cuenta estos efectos, el ci-  
clo bajo vacío, con un tamiz X-Sr, ofrece todavía una supe-  
rioridad de 30% aproximadamente. Esta conclusión está fun-  
dada en parte en los frentes de adsorción de pendiente muy  
rápida encontrados con el ciclo bajo vacío y que tienden a  
10 reducir el efecto de la longitud del lecho y del agua.

EJEMPLO X

Se ha estudiado también el efecto de la longitud del  
ciclo utilizando la unidad de tamices X-Sr similarmente ilus-  
trada en la figura 11, comparando las cadencias de produc-  
15 ción y los índices de recuperación para un ciclo de 90 se-  
gundos así como para un ciclo de 500 segundos. Se mantiene  
la pureza de producción a aproximadamente 72% de  $O_2$ , midien-  
do la cadencia de producción y de alimentación. Los resul-  
tados muestran que la cadencia de producción de 66,2  $dm^3/kg/$   
20 hora obtenida con el ciclo de 90 segundos es llevada a 13  
 $dm^3/kg/hora$  con el ciclo más largo de 500 segundos. Las ca-  
dencias de producción están esencialmente en la misma rela-  
ción que la duración de los ciclos. Los resultados están da-  
dos en la tabla IX.

TABLA IX

<u>Longitud del ciclo</u>	<u>90 segundos</u>	<u>500 segun.</u>
Pureza del producto, % de $O_2$	72	73
Cadencia de producción, $dm^3 /$ kg/hora	66,185	13
% de recuperación de $O_2$	56	72

30

La longitud del ciclo parece ejercer un efecto sen-

320156



sible sobre la recuperación de  $O_2$ . Esta recuperación de  $O_2$  aumenta al pasar de 56% para una duración de 90 segundos a 72% para una duración de 500 segundos. Se piensa que el gran aumento de la recuperación de oxígeno obtenido con el ciclo más largo está asociado a dos factores. En primer lugar, el ciclo más largo mejora la utilización del lecho adsorbente reduciendo los efectos de la zona de transferencia de masas que están influenciadas habitualmente de modo desfavorable por las velocidades elevadas asociadas con un ciclo rápido. En segundo lugar, con un ciclo más largo, el funcionamiento de la unidad es más regular.

EJEMPLO XI

Para fines de estudios, se ha efectuado una comparación entre los proyectos de unidad similares a la unidad que se ilustra en la figura 11 para el ciclo bajo vacío con un tamiz X-Sr y el ciclo "clásico", conteniendo la unidad que produce 2800 dm<sup>3</sup>/hora de aire 60% de oxígeno. Este caudal y esta pureza pueden ser utilizados en una aplicación médica para enriquecer el aire de una habitación entera hasta un contenido en  $O_2$  de 40% y para obtener una ventilación conveniente para un ocupante sedentario adulto de una habitación. Tres casos considerados para el ciclo bajo vacío con un tamiz X-Sr comprenden una presión de 0 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa) de 200 mm de Hg, una presión (relativa) de 0 kg/cm<sup>2</sup> con 100 mm de Hg y una presión de 0,35 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa) con 200 mm de Hg. Los resultados muestran que el ciclo bajo vacío con el tamiz X-Sr presenta una mejora de por lo menos 10% con relación al ciclo "clásico" ejecutado a una presión (relativa) de 0 a 2,10 kg/cm<sup>2</sup> con el tamiz 5A. Esta mejora concierne tanto al caudal de alimentación



como a la cantidad de adsorbente. Los resultados aparecen en la tabla X siguiente.

TABLA X

Condiciones de base del proyecto

5	Cadencia de producción	2800 dm <sup>3</sup> /hora.
	Pureza del producto	60% de O <sub>2</sub>
	Longitud del lecho	99 cm.
	Programa de los ciclos	
	Alimentación	25 segundos
10	BPE	5 "
	Descompresión	
	Purga	40 "
	BPE	5 "
	Compresión	15 "
15		90 segundos

Caso N°	Presión de adsorción Kg/cm <sup>2</sup>	Presión de desorción mm Hg	Peso del lecho, kg	Diámetro del lecho mm.	Ventilador dm <sup>3</sup> /h	Bomba de vacío dm <sup>3</sup> /h	Tiempo de purga seg.
I	0	200	37,650	188	15.120	10.640	15
20 II	0,35	200	32,660	175,2	16.100	11.760	10
III	0	100	32,660	175,2	15.680	11.760	7
IV(1)	2,10	760	42,180	195,6	16.520 (2)	-	25

(1) Ciclo "clásico" con tamiz 5A

(2) Compresor requerido para el ciclo "clásico".

25

Además de lo que precede, se observará que la flexibilidad aumentada del ciclo bajo vacío utilizando un tamiz X de estroncio permite obtener purezas de oxígeno superiores a 60%. Por ejemplo, la producción de oxígeno a 72% reducirá la cadencia de alimentación requerida a 12600 dm<sup>3</sup>/hora y la cantidad de adsorbente a 31,750 kg para un ciclo que utiliza

30



un tamiz X de estroncio y una presión de 0 kg/cm<sup>2</sup> a 200 mm de Hg. Estos resultados hacen resaltar particularmente la ventaja del ciclo bajo vacío con un tamiz X de estroncio para la producción de atmósferas ricas en oxígeno. Además, el ciclo bajo vacío permite utilizar una bomba de vacío más sencilla, relativamente menos costosa y más pequeña en lugar de un compresor.

#### EJEMPLO 12

Se extienden los estudios efectuados con la unidad piloto utilizando un ciclo bajo vacío y un tamiz X-Sr, siendo la unidad piloto idéntica a la que se ilustra en la figura 11, en la producción de O<sub>2</sub> de gran pureza. Una pureza de 93% de O<sub>2</sub> se obtiene con una cadencia de producción de 32,8 dm<sup>3</sup>/hora por kg de adsorbente y una recuperación elevada de 53% de O<sub>2</sub>. El límite superior observado para O<sub>2</sub> es de 93% de O<sub>2</sub>, con N<sub>2</sub> < 0,1%. El gas restante está constituido por aproximadamente 7% de argón.

Estos resultados muestran que se puede obtener un producto esencialmente exento de N<sub>2</sub> con este tipo de ciclo. El producto constituido por O<sub>2</sub> de una gran pureza puede servir de carga para otra purificación que consiste en eliminar el argón.

Estudios recientes relativos a los tamices adsorbentes han mostrado que existe una diferencia importante entre las velocidades de difusión del argón y de O<sub>2</sub> con un tamiz molecular 4A. Esto ha conducido a poner a punto técnicas con vistas a la separación argón/O<sub>2</sub> por un procedimiento que utiliza tamices moleculares 4A o pantallas de difusión como vidrio microporoso o una película "Teflón FEP-hidrocarburo florado" puesta a punto recientemente por Dupont de Nemours.



### EJEMPLO 13

En este ejemplo, la producción de 55 a 58% de  $O_2$  va acompañada de la producción de un gas de expansión a 90% de  $N_2$  a una cadencia de 42,45  $dm^3/hora/kg$  de adsorbente. Estos resultados se obtienen con el ciclo de 500 segundos. Para un ciclo de 90 segundos, la cadencia de producción de  $N_2$  podría alcanzar 235,4  $dm^3/kg/hora$ . Se pueden obtener purezas de  $N_2$  más elevadas operando a presiones más bajas o rechazando una fracción de la parte "delantera" del gas de expansión. Otras técnicas, tales como un reciclado de  $N_2$  de poca pureza durante la fase de BPE, pueden ser utilizadas para mejorar la pureza de  $N_2$ .

En resumen, el ciclo de desorción bajo vacío presenta ventajas notables con relación a un ciclo "clásico" que utiliza tamices 5A a una presión elevada. El ciclo que utiliza un tamiz X de estroncio y el vacío puede aumentar la producción de oxígeno en 30% con relación al ciclo clásico. Además, la pureza del oxígeno obtenido puede tener un valor tan elevado como 93%. Además, un ciclo de desorción bajo vacío con un tamiz X-Sr puede dar nitrógeno suplementario con una pureza superior a 90%.

Habida cuenta de los resultados precedentes obtenidos con el tamiz X de estroncio, se puede deducir, según las observaciones, las pendientes de las isotermas del nitrógeno y del oxígeno. Aunque las capacidades de adsorción del nitrógeno y del oxígeno sean extremadamente elevadas con un tamiz X de estroncio, por comparación con el tamiz 13X de sodio, o el tamiz 5A, que es la forma de calcio del tamiz 4A de sodio, la isoterma del nitrógeno con el tamiz X de estroncio comienza a aplanarse por encima de 0  $kg/cm^2$ ,

320156



mientras que la isoterma de oxígeno es esencialmente lineal y continúa elevándose. El resultado global, cuando se utiliza un ciclo bajo presión, es una producción neta de oxígeno que es pequeña y un índice de pureza elevado de oxígeno. La forma de la isoterma del nitrógeno con el tamiz X de estroncio conduce a un ciclo de adsorción sin caldeo en una zona de presión inferior en la cual la pendiente es máxima con relación a la pendiente del oxígeno. Esta característica constituye el descubrimiento fundamental del presente invento. Cuando el tamiz 13X de sodio es utilizado en el ciclo bajo vacío, los resultados son más mediocres que con el tamiz molecular X de estroncio.

Se ha comprobado igualmente, lo que constituye la característica esencial de un modo de realización específico del invento, que la forma catiónica sódica del tamiz molecular sintético del tipo Z, que se conoce con la denominación tamiz molecular 4A, puede ser sometida a un cambio con otros iones de una manera crítica, con objeto de modificar los efectos del tamiz molecular adsorbente. Una utilidad principal de los nuevos tamices moleculares, conforme a un modo de realización preferido del invento, reside en la separación del nitrógeno del oxígeno en el curso de un ciclo de adsorción en el cual el nitrógeno puede ser obtenido en forma de efluente primario.

Los gases inertes destinados a ser utilizados, como atmósferas de protección suscitan un interés que ha conducido a poner a punto procedimientos mejorados de purificación de corrientes de nitrógeno. Se ha demostrado ya que la técnica de adsorción sin calor es eficaz para la producción de  $N_2$  de una pureza de 98% a partir de aire de alimentación. Este



procedimiento, en el cual se utiliza un ciclo bajo vacío con un tamiz X de estroncio descrito más arriba, presenta el inconveniente de dar índices de recuperación pequeños de  $N_2$ , debido a que  $O_2$  concentrado al mismo tiempo que  $N_2$  en la fase adsorbida y que el nitrógeno es recuperado después de la desorción del adsorbente. Índices de recuperación de  $N_2$  más elevados podrían ser obtenidos si  $N_2$  fuera debilmente adsorbido, lo que determinaría la concentración de  $O_2$  en la fase adsorbida y permitiría recuperar  $N_2$  en forma de efluente primario.

La aplicación de la inversión del equilibrio de adsorción de  $N_2$  y  $O_2$  utilizando un tamiz molecular 4A (forma de sodio) en un ciclo de adsorción sin calor muy rápido (de 5 a 15 segundos) ha sido ya descrita. Sin embargo, un ciclo rápido es poco práctico desde el punto de vista industrial porque la instalación que sería de modo necesario relativamente importante, sufriría de una inercia inherente.

Uno de los tamices del invento, que es una modificación del tamiz 4A, muestra una capacidad satisfactoria para la purificación de las corrientes de  $N_2$ , utilizando el medio general de la inversión del equilibrio de adsorción.

Se sabe que los cationes de los tamices moleculares desempeñan una misión importante en la acción de tamizado cuando se procede a separaciones con ayuda de tamices moleculares. Además, los cationes tienen la propiedad de modificar el carácter de la superficie interna del tamiz que afecta a la selectividad de adsorción frente a un constituyente y no frente al otro. Se ha demostrado igualmente que en algunos casos aislados, un catión particular puede afectar la velocidad de adsorción de ciertos gases. Se supone que este efec-



to se debe al bloqueo parcial de la abertura de la jaula del tamiz a causa del emplazamiento y de las dimensiones del catión. Un ejemplo de este caso es la adsorción de  $N_2$  sobre un tamiz 4A. Experimentos relativos a la adsorción han demostrado que la adsorción de  $N_2$  es lenta, mientras que ciertos gases, tales como  $O_2$  y el argón, son adsorbidos rápidamente. Desgraciadamente, el efecto no es más que de una importancia menor, lo que hace relativamente poco cómodo frenar la adsorción de  $N_2$  con ayuda de un ciclo rápido de adsorción sin caldeo.

Para el sistema  $N_2/O_2$ , la cadencia de adsorción no ha sido asociada más que con la forma de sodio del tamiz molecular "A" ((A). En el caso de cationes monovalentes, el cambio con iones menores, tales como iones litio, sirve únicamente para descubrir la abertura de la jaula del tamiz, lo que anula el efecto establecido. El cambio con cationes mayores, tales como los iones potasio, como en el caso de un tamiz molecular 3A, impide completamente la adsorción de  $N_2$ , de  $O_2$  y del argón, lo que no permite ninguna separación. El tamiz necesario es un tamiz intermedio entre el tamiz 3A y 4A o un tamiz "3 1/2 A" que, o bien impediría completamente, o bien retardaría considerablemente la adsorción de  $N_2$ , permitiendo a la vez, sin embargo, una adsorción rápida de  $O_2$  y/o del argón.

Se sabe, de acuerdo con el análisis de los tamices moleculares, que la jaula de los tamices 4A contiene 12 cationes de sodio de los cuales cuatro están situados cerca de la abertura de la jaula del tamiz. Dado que cada jaula de tamiz comprende seis aberturas u orificios de entrada, y que cada uno de estos orificios está dividido con una jaula vecina,

320156



es evidente que cada orificio de una jaula de tamiz comprende aproximadamente dos cationes de sodio asociados, Estos cationes "de orificios" particulares son generalmente los primeros en sufrir un cambio de iones y en modificar la dimensión crítica del orificio de admisión en la jaula de tamiz. La teoría de la solicitante es la siguiente: por cambio parcial, es decir, sustituyendo solamente uno de los dos cationes de sodio críticos con un catión potasio mayor, la abertura de la jaula de tamiz puede ser ajustada de manera que permita una adsorción rápida de  $O_2$  e igualmente de manera que se frene fuertemente la adsorción de  $N_2$ .

Se ha comprobado que una proporción de aproximadamente 9 a 11%, de preferencia de aproximadamente 10%, de los cationes sodio, debe ser sustituida por cationes potasio para producir un tamiz "3 1/2 A".

En general, se puede ejecutar la reacción poniendo en contacto un tamiz molecular con una solución acuosa de una cierta cantidad de iones potasio, siendo elegidas las gamas críticas en lo que concierne a la cantidad de iones de manera que aproximadamente de 9 a 11 % en moles de los cationes sodio sean sustituidos por cationes potasio.

El tamiz molecular modificado conforme al presente invento puede ser utilizado igualmente para separar el óxido de carbono del nitrógeno. Esta característica del tamiz es importante en la producción de atmósferas inertes, por ejemplo, para el almacenaje de alimentos y de legumbres.

No sólo es posible modificar las aberturas de los poros del tamiz sustituyendo los cationes sodio de un tamiz molecular 4A por cationes potasio, sino que incluso se puede aplicar la misma técnica a otros tamices moleculares. Por ejemplo, se ha demostrado más arriba que con los cationes estron-



5                   cio, la capacidad y la selectividad de los tamices esqueletos de los tipos "X" o "A" son notablemente más elevadas en lo que concierne a la adsorción de  $N_2$  con relación a la adsorción de  $O_2$  que con la forma sódica de estos tamices. Por consiguiente, una combinación de las propiedades de un tamiz de estroncio con un cambio parcial en el lugar de las aberturas de los poros dará un tamiz que tenga a la vez un caracter superficial interno óptimo y una dimensión de aberturas de poros óptima para asegurar una separación máxima de los constituyentes gaseosos.

10                   Así, se puede preparar un tamiz procedinedo a un cambio de iones sensiblemente completo con el catión o los cationes particulares deseados, para obtener una adsorción máxima del constituyente deseado. Este proceso afecta a la superficie interna y se ajustan luego las aberturas de los poros del tamiz para llevarlas a la dimensión deseada aplicando el procedimiento del presente invento, para facilitar la acción de tamizado con vistas a separar constituyentes. A este efecto, se puede proceder a un cambio parcial porque son los cationes más próximos a las aberturas de los poros los que afectan a estas aberturas y los que sufren en primer lugar un cambio de iones.

25                   Se expone en lo que sigue un procedimiento de preparación de un tamiz molecular con vistas a mejorar más la separación  $N_2/O_2$  gracias al efecto de rendimiento del tamiz "3-1/2A".

30                   (1) se prepara un tamiz A de estroncio sustituyendo por 80 a 100 por 100 moles de iones estroncio en solución acuosa los iones sodio presentes en el tamiz 4A.

                  (2) Se utilizan soluciones diluídas de cbruro de so-

**320156**



5            dio y se someten a un cambio parcial solamente los cationes de estroncio colocados en los orificios (30 a 40% en moles, del total de los cationes estroncio). Se puede utilizar tal cual este tamiz sometido a un cambio parcial, o bien someterlo a la operación (3) siguiente:

10            (3) Se repite el procedimiento de cambio parcial anterior utilizando soluciones diluídas de cloruro de potasio para no sustituir más que uno de los dos cationes de sodio que se encuentran en el orificio de los poros por un catión potasio.

15            El procedimiento anterior dá, después de la operación (3), un tamiz del tipo A de estroncio que tiene el efecto máximo del tamiz 3-1/2A. Además, con el tamiz obtenido en la operación (3), la capacidad de adsorción del oxígeno es aumentada en aproximadamente 50% a causa de las propiedades superiores de los cationes estroncio por comparación con los cationes sodio. El resultado es, en realidad, un cambio de cationes múltiples.

20            El medio general fundamental que se puede deducir de lo que precede puede ser aplicado en sistemas en los cuales las características de adsorción y las aberturas de los tamices pueden ser llevadas a valores elegidos que convienen para la separación deseada del gas.

25            Este modo de realización del invento está ilustrado todavía por el ejemplo siguiente 14, y por las figuras del dibujo que se refieren al mismo y que presentan gráficamente algunos de los resultados obtenidos conforme a este ejemplo.

EJEMPLO 14

30            Este ejemplo tiene por objeto permitir definir el efecto del grado de sustitución de los cationes sodio por ca-



tiones potasio en las características resultantes de adsorción del nitrógeno, del oxígeno y del argón. Se describe a continuación en detalle el procedimiento experimental.

5 1.- Se humedecen previamente, con agua desionizada 100 gramos de un tamiz molecular 4 A (partículas extruídas de 1,58 mm) fabricado por "Linde Co.", vertiendo el tamiz lentamente en aproximadamente 250 cm<sup>3</sup> de agua desionizada.

2.- Se decanta el agua.

10 3.- Se prepara una solución de cambio de iones mezclando 6 g. de KCl con 600 cm<sup>3</sup> de agua desionizada.

4.- Se añaden 200 cm<sup>3</sup> de está solución de KCl al tamiz 4A humedecido previamente.

15 5.- Se calienta la mezcla a 66°C y se mantiene a esta temperatura durante dos horas purgándola a la vez con N<sub>2</sub>, que constituye una atmósfera protectora y asegura igualmente la agitación.

6.- Se decanta la solución y se lava el tamiz en tres veces con 200 cm<sup>3</sup> de agua desionizada a 66°C.

20 7.- Se decanta el agua de lavado y se repiten las operaciones (4) a (6) hasta que la solución de KCl sea agotada.

8.- Se lava perfectamente el tamiz utilizando por lo menos cinco porciones de 200 cm<sup>3</sup> cada una de agua desionizada.

25 9.- Se expulsa el agua excedente calentando a 93°C y se purga con N<sub>2</sub> ;

10.- Se seca el tamiz resultante someténdolo a la acción de una presión inferior a la presión atmosférica ( < mm de Hg) calentando a la vez lentamente hasta 93°C.

30 Cuando la presión ha vuelto a 1 mm de Hg, se calienta lenta-



mente hasta 371°C. El caldeo no debe ser demasiado rápido porque los cristales del tamiz podrían ser destruidos por el desprendimiento rápido del agua contenida en el tamiz. Se mantiene la composición del tamiz a 371°C durante por lo menos cuatro horas, a una presión < 1 mm de Hg.

5

El procedimiento anterior es específico para la preparación del tamiz "3-1/2A" solamente con la cantidad y el tipo de iones utilizados, es decir, KCl. Una simple variación del tratamiento con KCl se traduce en una variación correspondiente de la cantidad de potasio que sustituye el sodio. El procedimiento es igualmente aplicable a otros tamices y otros cationes.

10

Los resultados obtenidos con diversos cambios parciales en lo que concierne a las características de adsorción nitrógeno-oxígeno están dados en la tabla XI.

15

TABLA XI

Resultados de cambios parciales

Experi- mento nº	gKCl/100 g de tamiz 4A	Peso de Na% K%	Peso de K% Na%	Total pe- so% A	Moles de K% Na%	Características de la adsorción de N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	
20	1	300	3,9	17,5	21,4	72,4	} similar a 3A
	2	100	4,9	15,8	20,7	65,2	
25	4	10	6,3	13,5	19,8	55,8	} Ninguna adsorción de N <sub>2</sub> ó de O <sub>2</sub>
	3	-	11,4	4,8	16,2	20,0	
	9	7	12,5	3,0	15,5	12,3	
	10	6	12,7	2,6	15,3	10,7	} Zona de velocidad de adsorción mínima de N <sub>2</sub> . Velocidad de adsorción de O <sub>2</sub> no modificada.
30	7	5	12,9	2,2	15,1	9,1	

320156



8	3	13,4	1,4	14,8	5,6	} Similar a 4A
5	1	13,9	0,6	14,5	2,5	
6	0,1	14,1	0,2	14,3	0,8	
11	0	14,2	0	14,2	0	

5 (tamiz 4A nuevo)

■ Con relación al peso total del tamiz

■ Con relación al total de los cationes del tamiz.

10 Con los tamices moleculares obtenidos por cambio parcial, es necesaria una gama de concentración crítica de los iones potasio para obtener el tamiz "3-1/2A". Como se ve en la tabla XI. la sustitución de > 12% de los iones sodio por iones potasio dá un tamiz que tiene las características de adsorción de un tamiz 3A (100 por 100 de K). Estos tamices, como el tamiz 3A, no adsorben N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, o argón. Tamices en los cuales < 6% de los iones sodio han sido sustituidos por iones potasio poseen las características de un tamiz 4A (100 por 100 de Na), como lo muestran las isotermas de la figura 16 en la cual se han representado las isotermas de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> obtenidas con un tamiz 4A del comercio, a 21°C (tamiz sódico); en este gráfico, se ha llevado la presión absoluta en kg/cm<sup>2</sup> a las abscisas y la capacidad del tamiz a las ordenadas, en gramos /100 gramos, dando las cifras llevadas a la derecha que se extienden por debajo del gráfico la presión relativa en kg/cm<sup>2</sup>.

25 Sin embargo, los tamices que comprenden de 9 a 11% de iones K poseen las características de adsorción deseadas de un tamiz "3-1/2A". En este intervalo de concentración estrecho, la adsorción de N<sub>2</sub> es superior a la adsorción de O<sub>2</sub>, como lo muestran las isotermas de adsorción de la figura 17, que muestran un gráfico obtenido con un tamiz "3-1/2A", a

30



21°C (10 moles % de K/90 moles % Na) y sobre el cual la presión absoluta en kg/cm<sup>2</sup> está llevada a las abscisas y la capacidad del tamiz está llevada a las ordenadas, en gramos/100 gramos, extendiéndose la presión relativa en kg/cm<sup>2</sup> llevada a la derecha por debajo del gráfico. Sin embargo, se ha comprobado durante las determinaciones en equilibrio que la velocidad de adsorción de N<sub>2</sub> sobre el tamiz "3-1/2 A" es considerablemente menor que sobre el tamiz 4A, mientras que la adsorción de O<sub>2</sub> es rápida tanto en el tamiz "3-1/2 A" como en el tamiz 4A.

Las características de adsorción del tamiz "3-1/2A" han sido estudiadas aplicando la técnica de impulsos de presión. Se ha descrito esta técnica más arriba. Reproduce la fase de alimentación de un ciclo de adsorción sin caldeo y da una buena representación cualitativa de la aptitud del adsorbente en lo que concierne a la separación de O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Las operaciones que recurren a impulsos de presión son efectuadas utilizando el tamiz "3-1/2A". Los resultados son comparados con los de un tamiz 4A y de un tamiz 3A. Las condiciones de la prueba comprenden la introducción de aire seco, una presión (relativa) de desorción de 0,21 kg/cm<sup>2</sup> y una presión (relativa) de adsorción de 2,1 kg/cm<sup>2</sup> así como una temperatura de 21°C.

La figura 18 ilustra un aparato destinado al estudio de los ciclos bajo presión. Este aparato comprime un lecho de adsorción inicialmente equilibrado a una presión pequeña con aire en circulación para llevarlo a una presión elevada cualquiera.

El procedimiento experimental es el siguiente. Se activa el adsorbente A a ensayar calentándolo a 316°C durante dos horas con ayuda de un dispositivo de caldeo eléctrico D.C.E.



5 purgándolo a la vez en helio seco. Se enfría el reactor a  
21°C, y se purga con aire seco. Se mantiene una presión cons-  
tante de 0,21 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa) con ayuda de un regu-  
lador de contrapresión que mantiene un caudal constante del  
10 efluente. La concentración en O<sub>2</sub> es regulada por un analiza-  
dor de oxígeno (A.O.) colocado en el conducto para el efluen-  
te. Se lleva bruscamente la presión de admisión hasta que al-  
canza 2,1 kg/cm<sup>2</sup> a la admisión y al regulador de contrapresión.  
A este efecto, se utilizan válvulas de solenoides S.S. y regu-  
ladores de contrapresión accionados en paralelo para una pre-  
sión (relativa) de 0,20 y 2,1 kg/cm<sup>2</sup> (respectivamente). Des-  
pués de haber alcanzado de nuevo la composición del aire,  
se reduce bruscamente la presión hasta 0,20 kg/cm<sup>2</sup>. Se repi-  
te este ciclo de presión a intervalos de tiempo regulares.

15 La curva de impulsos resultante es una representa-  
ción cualitativa satisfactoria de la aptitud del adsorbente  
para una separación oxígeno-nitrógeno. La zona situada bajo  
la curva de impulsos encima de la composición (C.A.) del  
aire de admisión (21% de oxígeno) es una medida cuantitativa  
20 de la capacidad de adsorción del nitrógeno o de producción  
neta del oxígeno y está expresada en oxígeno XS o producción  
neta de O<sub>2</sub> (cm<sup>3</sup> a una presión y una temperatura normalizadas/  
100 g. de adsorbente).

25 Como muestra el gráfico de la figura 19 (obtenido  
llevando los tiempos a las abscisas y el contenido en O<sub>2</sub>  
en el efluente, en moles, a las ordenadas) el tamiz 4A no  
muestra más que un efecto de rendimiento mediocre, a causa del  
ligero enriquecimiento de N<sub>2</sub> que se produce inmediatamente  
después de la recompresión de 0,2 a 2,1 kg/cm<sup>2</sup> (recta R).  
30 El enriquecimiento de N<sub>2</sub> es anulado muy rápidamente por un

320156



enriquecimiento de  $O_2$  que muestra la selectividad del adsorbente sobre la base de las propiedades en equilibrio. Por el contrario, el tamiz "3-1/2A" muestra un efecto de rendimiento mucho más pronunciado que el tamiz 4A. No se observan más que efectos menores de las características en equilibrio. La composición del efluente casi entero está por debajo de la composición del aire cargado. Como se podría prever, con el tamiz 3A, no se comprueba separación del aire a tratar. Los resultados de la prueba de impulsos hacen resaltar que el tamiz "3-1/2A" posee una capacidad satisfactoria para la producción de un gas rico en  $N_2$  a partir del aire durante la fase de adsorción o de carga en el curso de un ciclo de adsorción sin caldeo. Las propiedades de rendimiento superiores con relación al tamiz 4A facilitan la obtención de cadencias de producción y de índices de recuperación más elevados con ciclos moderadamente rápidos.

Estudios recientes relativos a la adsorción sin caldeo muestran que la producción de nitrógeno de pureza elevada a partir del efluente de un generador de gas inerte está limitada por la adsorción de CO. Estos estudios han mostrado que se puede eliminar CO llevando su contenido inicial de 2000 ppm a  $<$  50 ppm. Sin embargo, las cadencias de producción y los índices de recuperación de  $N_2$  son pequeños. Se piensa que la mediocridad de estos resultados se debe a una interferencia de  $N_2$  con la adsorción de CO, así como a la capacidad relativamente elevada del adsorbente frente a  $N_2$ .

Las conclusiones que preceden están basadas sobre resultados obtenidos con tamices moleculares tales como los tamices 13X así como con carbón activado tal como HCC. En general, la obtención de una separación eficaz  $N_2/CO$  en la

320156



mayoría de los adsorbentes es difícil a consecuencia de las similitudes que existen entre las propiedades de adsorción de estos gases. Además, existe una diferencia notable en las dimensiones críticas de las moléculas de  $N_2$  y  $CO$  que muestra que una separación en función de la dimensión y/o de la cadencia de adsorción sería posible. Las moléculas de  $CO$  tienen una dimensión de  $2,8 \text{ \AA}$  y las moléculas de  $N_2$  tienen una dimensión de  $3,0 \text{ \AA}$ . Las moléculas de  $O_2$  tienen una dimensión de  $2,8 \text{ \AA}$ , lo que indica que la cadencia de adsorción de  $CO$  sería similar a la de  $O_2$  con un tamiz "3-1/2A" y que la adsorción de  $N_2$  sería impedida.

Las isotermas de adsorción representadas en la figura 17 muestran que el tamiz "3-1/2A" es capaz de adsorber más fuertemente  $CO$  que  $N_2$ . Además, se ha comprobado estableciendo las isotermas que las velocidades de aproximación del equilibrio para  $CO$  y para  $O_2$  son similares y son ambas considerablemente más rápidas que para  $N_2$ . Se puede deducir, pues, que el tamiz "3-1/2A" puede ser utilizado para separar una mezcla  $CO/N_2$ , con un grado de eficacia que no se habría obtenido hasta ahora con adsorbentes clásicos. Este tamiz, utilizado conjuntamente con el procedimiento de adsorción sin caldeo y con ciclos de una rapidez razonable (30 segundos a 2 minutos), da las características necesarias de adsorción de  $CO$  y frena además la adsorción de  $N_2$ , aumentando a la vez la cadencia de producción y el índice de recuperación para la producción de  $N_2$  de pureza elevada.

Las propiedades de los tamices "3-1/2A" pueden ser útiles igualmente en un procedimiento de eliminación del argón con vistas a la producción de  $N_2$  de pureza elevada para la síntesis del amoníaco. El problema del envenenamiento por el argón procede del hecho de que la combustión de hidrocarburos tiene lugar en el aire y que se obtiene así finalmente



$N_2$  y  $H_2$ . La separación  $N_2$ /argón sería análoga a la separación  $N_2/O_2$  anteriormente descrita. Se ha llegado a esta conclusión porque se ha comprobado que  $O_2$  y el argón presentan similitudes sobre un tamiz "3-1/2A".

5                    En resumen, un nuevo tamiz molecular cuyas propiedades están comprendidas entre las de los tamices 3A y 4A puede ser preparado por cambio parcial de iones. Este tamiz, denominado tamiz "3-1/2A" posee una actividad satisfactoria para mejorar las separaciones de gases tales como  $N_2$  y  $O_2$ .  
10 El medio general consiste en impedir la adsorción de  $N_2$  y en eliminar así el constituyente indeseable contenido en la corriente de  $N_2$  por adsorción. Esto supone previamente que la molécula de un constituyente indeseable tal como  $O_2$ , CO y/o argón, es menor que la molécula de  $N_2$ . La técnica  
15 del invento puede permitir preparar otros tamices moleculares "a medida".

                  El concepto de la regulación de los orificios de los poros de los tamices por cambio parcial de cationes en los tamices moleculares abre un campo de estudios muy  
20 vasto. Se pueden fabricar tamices moleculares adsorbentes "a medida" para facilitar la separación deseada de constituyentes gracias a una elección apropiada de cationes. Se puede recurrir a un cambio múltiple de cationes no solo para regular las aberturas de los poros del tamiz, sino  
25 incluso para modificar la superficie interna con vistas a una adsorción máxima.

                  Aunque se han descrito más arriba ciertas características particulares del invento, se sobreentiende que se pueden introducir en el mismo numerosas modificaciones  
30 sin salir para esto del marco del invento.





N O T A

---

5 Los puntos de invención propia no nueva pero no  
practicada ni divulgada en España que se presentan para  
que sean objeto de la presente solicitud de Patente de In-  
troducción, en España, por DIEZ años, son los siguientes:

10 1.- Un aparato para enriquecer el contenido en  
oxígeno de un espacio cerrado adecuado para ser habitado  
por seres humanos y/o animales, caracterizado porque compren-  
de un dispositivo de adsorción concebido para tratar aire de  
manera que una corriente gaseosa pueda penetrar en el recin-  
to cerrado, conteniendo esta corriente más oxígeno y menos ni-  
trógeno que el aire tratado.

15 2.- Un aparato según la reivindicación 1, caracte-  
rizado porque el recinto cerrado es una pieza que puede ser  
habitada por seres humanos o bien un espacio cerrado que  
puede recibir animales.

20 3.- Un aparato según la reivindicación 1, caracte-  
rizado porque está concebido de manera que permita la sali-  
da de un gas contenido en el recinto cerrado, conteniendo  
este gas más nitrógeno y menos oxígeno que el aire.

25 4.- Un aparato según la reivindicación 1, caracte-  
rizado porque el dispositivo de adsorción está situado  
en el recinto o en el exterior de éste.

5.- Un aparato según la reivindicación 1, caracte-  
rizado porque el dispositivo de adsorción es un adsorbe-  
dor sin calentamiento.

30 6.- Un procedimiento para enriquecer el contenido  
en oxígeno de un espacio cerrado adecuado para ser habitado  
por seres humanos y/o animales, caracterizado porque consiste  
en poner el aire en contacto con un adsorbente que adsorbe



el nitrógeno y enviar la corriente efluente del adsorbente al recinto cerrado, siendo el contenido de oxígeno más elevado en la corriente efluente que en el aire.

5       7.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque consiste en introducir aire a una presión relativamente elevada en un primer lecho adsorbente que contiene un adsorbente selectivo frente al nitrógeno, lo cual da una corriente efluente primaria enriquecida en oxígeno que sale del primer lecho; en separar una parte de esta corriente efluente  
10       te primaria enriquecida en oxígeno para enviarla a la zona cerrada; en hacer circular el resto de la corriente efluente primaria, a una presión relativamente baja, a través de un segundo lecho adsorbente que ha sido utilizado previamente para adsorber el nitrógeno contenido en el aire y que ha sido sometido a una purga parcial obtenida llevando la presión en este  
15       segundo lecho a un valor relativamente bajo; en descargar desde el recinto la corriente efluente secundaria, que sale del recipiente que contiene el segundo lecho de adsorbente, y después proseguir la operación de manera cíclica.

20       8.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque se introduce aire bajo presión en un adsorbente que tiene una acción selectiva frente al nitrógeno, se envía la corriente efluente primaria, descargada enriquecida en oxígeno, a un recipiente de almacenaje y se separa  
25       el efluente primario, enriquecido en oxígeno, en el recipiente de almacenaje, para enviarlo al recinto, se interrumpe periódicamente la adsorción y se reduce la presión sobre el lecho adsorbente, lo que hace que una parte del efluente primario atraviese el lecho adsorbente, en contracorriente  
30       con la adsorción y purgue así el lecho adsorbente, después



de lo cual se continúa la operación de manera cíclica.

5 9.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque la presión relativamente elevada está comprendida entre aproximadamente 1,05 y 3,5 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa), y la presión relativamente baja está comprendida entre 0 y 0,7 kg/cm<sup>2</sup> (presión relativa).

10 10.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque para obtener un rendimiento elevado del producto se reduce la relación purga/carga.

15 11.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque se lleva la presión del aire a un valor relativamente elevado con ayuda de un compresor que consume aproximadamente 75 a 150 litros de agua por hora, accionado por un motor de una potencia de 2CV y que consume aproximadamente 18 amperios para una operación a una presión (relativa) de aproximadamente 2,1 kg/cm<sup>2</sup> con una tensión de 110 voltios.

20 12.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque se obtiene el rendimiento elevado reduciendo la presión relativamente elevada de aproximadamente 2,1 a 1,6 kg/cm<sup>2</sup>.

25 13.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque la duración de cada ciclo está comprendida entre 10 y 300 segundos, siendo el programa de los ciclos tal que cada fase sea función de esta duración.

30 14.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque se introduce aire bajo presión atmosférica en una zona que contiene tamices moleculares tales como tamices del tipo X o del tipo A, de los cuales aproximadamente 30 a 100% de los cationes sodio están sustituidos por cationes de un metal tales como cationes Ca<sup>++</sup> Mg<sup>++</sup> Sr<sup>++</sup> o Ag<sup>+</sup>



o sus mezclas, a una temperatura de  $-23^{\circ}\text{C}$  a  $43^{\circ}\text{C}$  y a una presión que es al menos igual a la presión atmosférica, se retira un efluente primario constituido por el aire enriquecido en oxígeno que contiene aproximadamente 25 a 93% de oxígeno, hasta que la cantidad de oxígeno en este aire enriquecido en oxígeno caiga por debajo de un nivel predeterminado, y se desorbe seguidamente el tamiz molecular ejerciendo sobre este una presión inferior a la presión atmosférica y comprendida entre 750 y 0,1 mm. de mercurio, se purga este tamiz a dicha presión inferior de la presión atmosférica con un gas que tiene sensiblemente la misma composición que el efluente primario y se repite cíclicamente el procedimiento que se acaba de exponer.

15.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el catión es un catión magnesio, calcio o plata y el tamiz molecular es un tamiz molecular del tipo A.

16.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el catión es un catión calcio, estroncio o plata monovalente, y el tamiz molecular es del tipo X.

17.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el ciclo adsorción/desorción es llevado a cabo a una presión(absolute) comprendida entre 0,21 y 1,4 Kg/cm<sup>2</sup> y a una temperatura/comprendida entre aproximadamente 14 y  $25^{\circ}\text{C}$ .

18.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque se utilizan dos zonas de adsorción, de las cuales una está en periodo de adsorción mientras la otra está en periodo de desorción, y, al fin de cada ciclo de adsorción y de cada ciclo de desorción, de unen entre sí las dos zonas de manera que se igualen las presiones que allí reinan, utilizándose una parte del aire enriquecido en oxígeno como gas de purga para una zona después que ha sido llevada hasta la presión.



más baja del ciclo.

5

10

19.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el ciclo total tiene una duración de 90 segundos, la cadencia de producción del aire enriquecido en oxígeno es de aproximadamente 2.800 dm<sup>3</sup>/hora, el contenido de oxígeno de este aire enriquecido en oxígeno es de aproximadamente 60%, el tiempo de adsorción es de aproximadamente 25 segundos, el tiempo de la operación de igualación de presión de los lechos es de aproximadamente 5 segundos, el total de los tiempos de reducción de presión y de purga es de aproximadamente 40 segundos y el tiempo de la nueva compresión es de aproximadamente 15 segundos.

15

20

20.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque permite separar una mezcla que comprende los constituyentes A y B, y consiste en poner esta mezcla en contacto con un adsorbente, a una presión suficiente para que el constituyente A sea más fuertemente adsorbido y en desorber seguidamente el adsorbente a una presión para la cual la pendiente de la isoterma del constituyente más fuertemente adsorbido es máxima con relación a la pendiente de la isoterma del constituyente menos fuertemente adsorbido.

25

21.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el constituyente más fuertemente adsorbido es N<sub>2</sub>.

30

22.- Un procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque se introduce aire seco en una zona que contiene un tamiz molecular del tipo X o del tipo A, cuyos cationes sodio son sustituidos en aproximadamente 30 a 100% por cationes Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Sr<sup>++</sup> o Ag<sup>+</sup> o sus mezclas, a una



10 JUN 1966

temperatura de  $-23^{\circ}\text{C}$  a  $43^{\circ}\text{C}$  y a una presión al menos igual a la presión atmosférica, se separa un efluente primario constituido por aire enriquecido en oxígeno que contiene aproximadamente 25 a 93% de oxígeno hasta que la cantidad de oxígeno de este aire enriquecido en oxígeno descienda por debajo de un nivel predeterminado desde aproximadamente 25 a 29% y se describe seguidamente el tamiz molecular sometiéndolo a una presión inferior a la presión atmosférica y comprendida entre 750 y 0,1 mm. de mercurio.

5  
10  
15  
23.- Un procedimiento según la reivindicación 22, aplicado a la regulación de la capacidad de adsorción de adsorbentes constituidos por ceolitas cristalinas, cuyas aberturas de los poros de la estructura contienen cationes, caracterizado porque consiste en sustituir al menos uno de los cationes fijados en dichas aberturas por otro catión dejando completamente sin cambiar los cationes que se encuentran en el interior de los poros.

20  
24.- Un procedimiento según la reivindicación 23, caracterizado porque la ceolita sintética es un tamiz molecular 4A que comprende únicamente cationes sodio y cuya estructura tiene poros cuyas aberturas comprenden dos cationes sodio, de los cuales uno es sustituido por un catión potasio.

25  
25.- Un procedimiento de preparación de adsorbentes apropiados para la separación de nitrógeno y oxígeno, caracterizado porque se hace reaccionar un tamiz molecular sintético del tipo 4A con una solución iónica que contiene iones potasio al fin de sustituir los iones sodio de este tamiz molecular con aproximadamente 9 a 11% de potasio, en moles.

30  
26.- Un procedimiento según la reivindicación 25, caracterizado porque el grado de intercambio alcanza aproximadamen-

320158



te 10% en moles.

5 27.- Un procedimiento según la reivindicación 25, caracterizado porque se prepara un tamiz molecular sodio/estroncio, (A) formando un tamiz del tipo A sustituido por estroncio obtenido sustituyendo al menos 30% en moles, de los iones sodio de un tamiz 4A por iones estroncio, y (B) no sustituyendo más que los cationes estroncio situados en los orificios de los poros por iones sodio.

10 28.- Un procedimiento según la reivindicación 25, caracterizado porque uno de los cationes sodio fijado en dicho orificio es sustituido por un catión potasio.

29.- Un aparato y un procedimiento para enriquecer el contenido en oxígeno de un espacio cerrado adecuado para ser habitado por seres humanos y/o animales.

15 Tal y como se ha descrito en la memoria que antecede, representada por los dibujos que se acompañan, y para los fines que se han especificado.

La presente memoria consta de setenta y siete hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

P.A.

16 JUN 1966  
*Albano de Elzaburu*  
Por Poder

320156

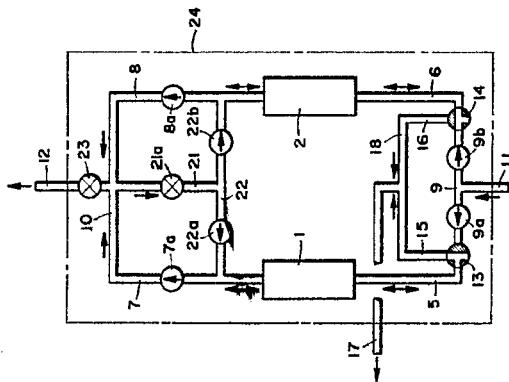


FIG. 1

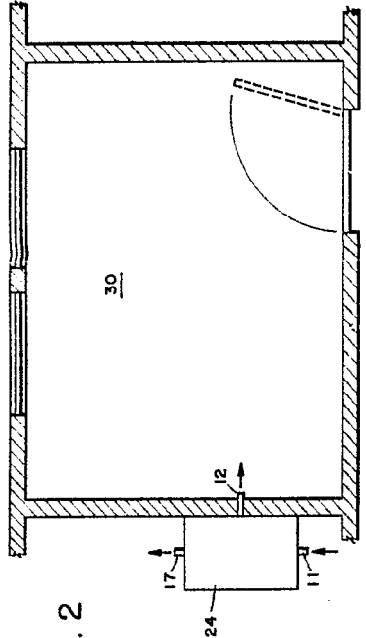


FIG. 2

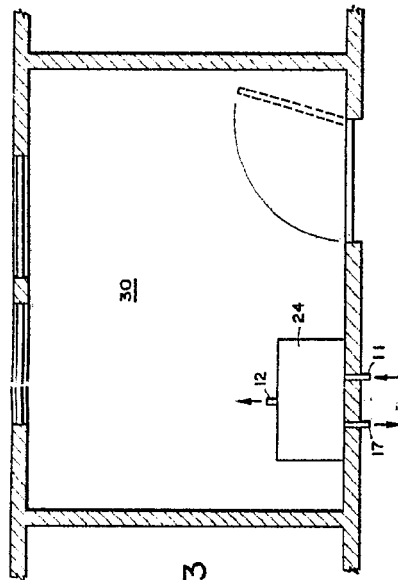


FIG. 3

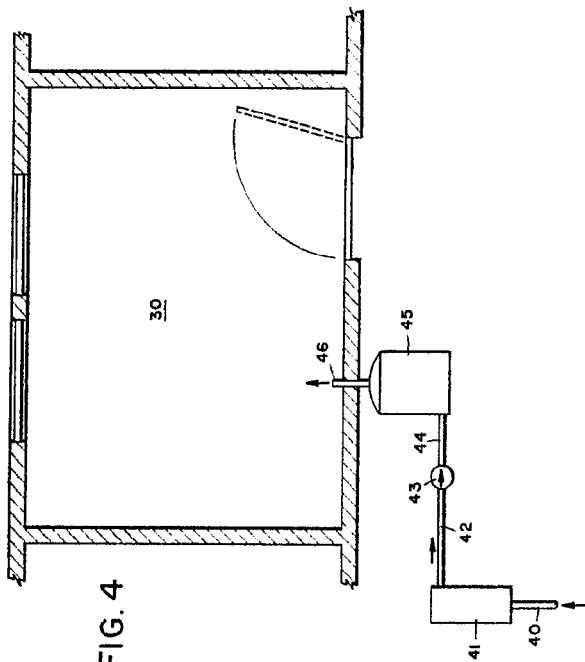


FIG. 4

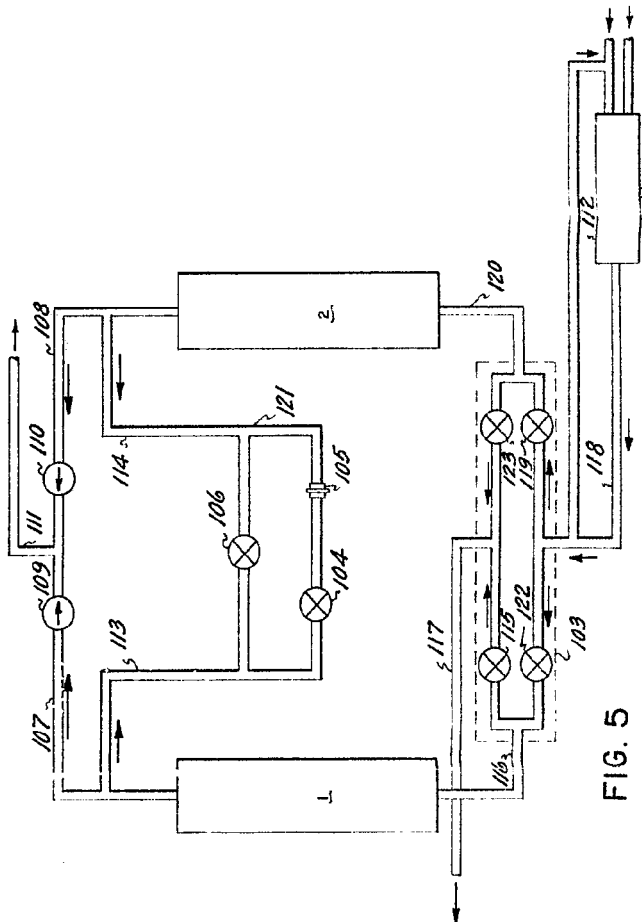


FIG. 5

*Curly*

ADJUSTABLE

1980

FIG. 1

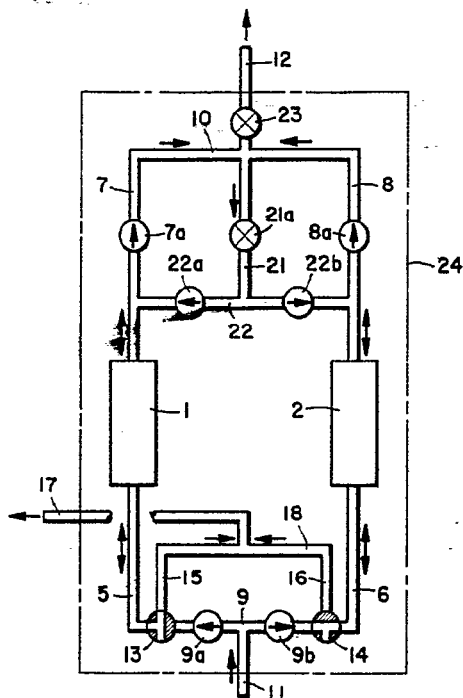


FIG. 2

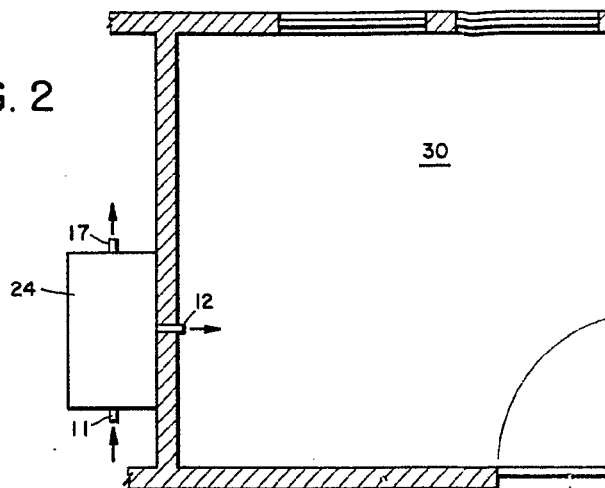


FIG. 4

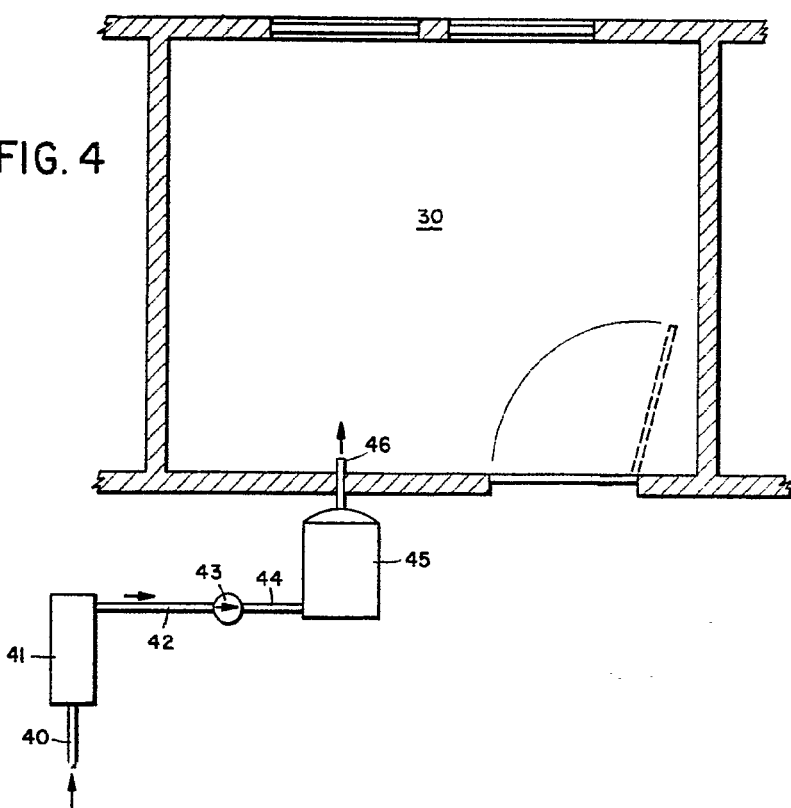
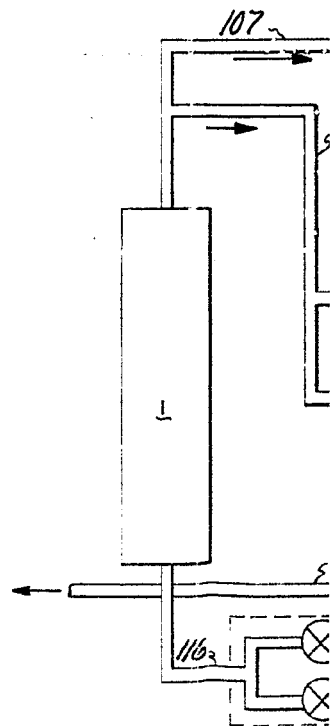


FIG. 5



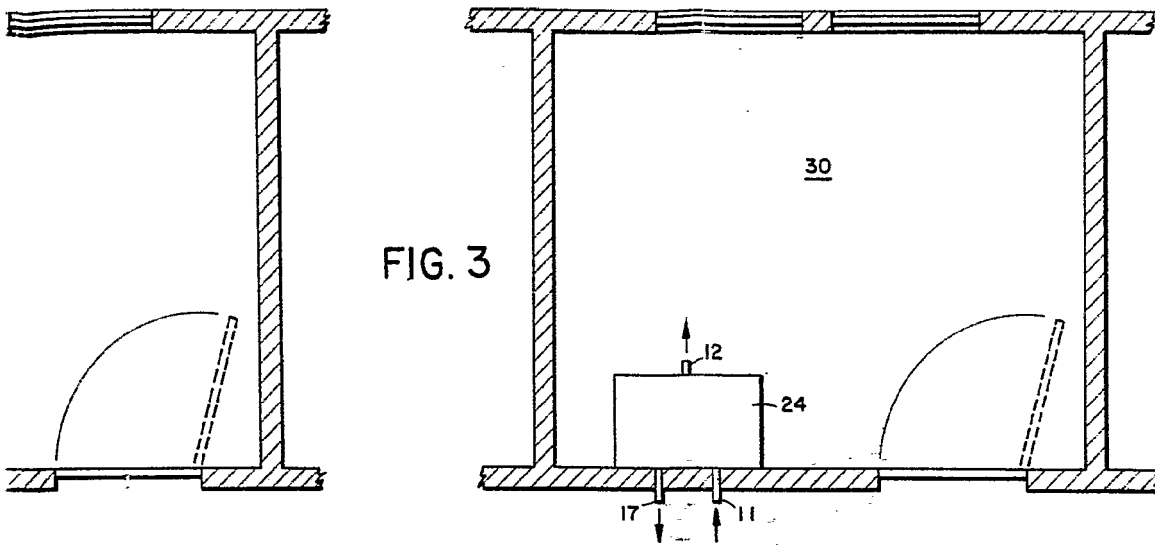


FIG. 3

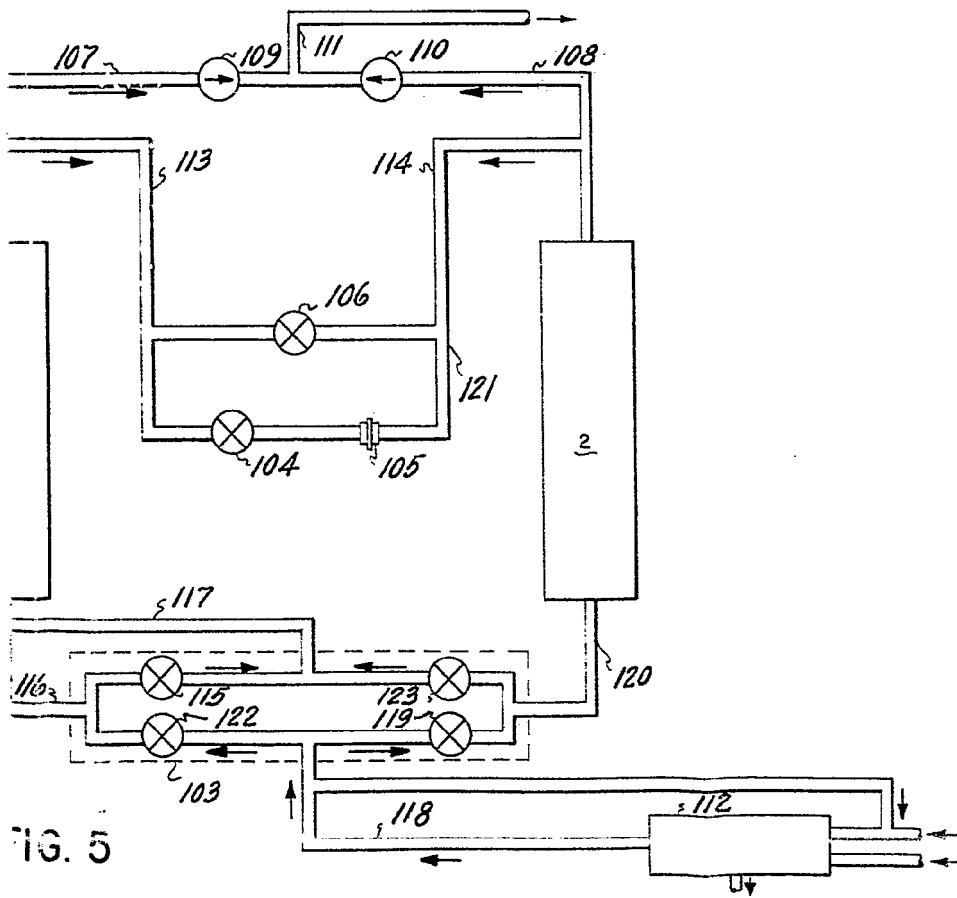


FIG. 5

*Carls*

10-15-51

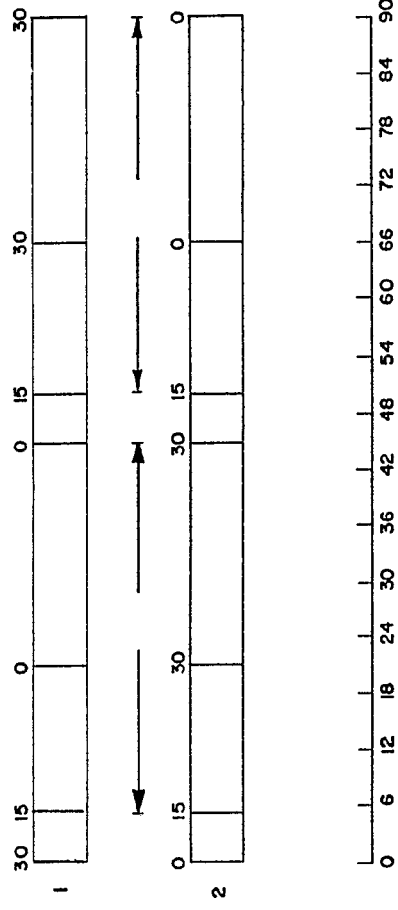


FIG. 6

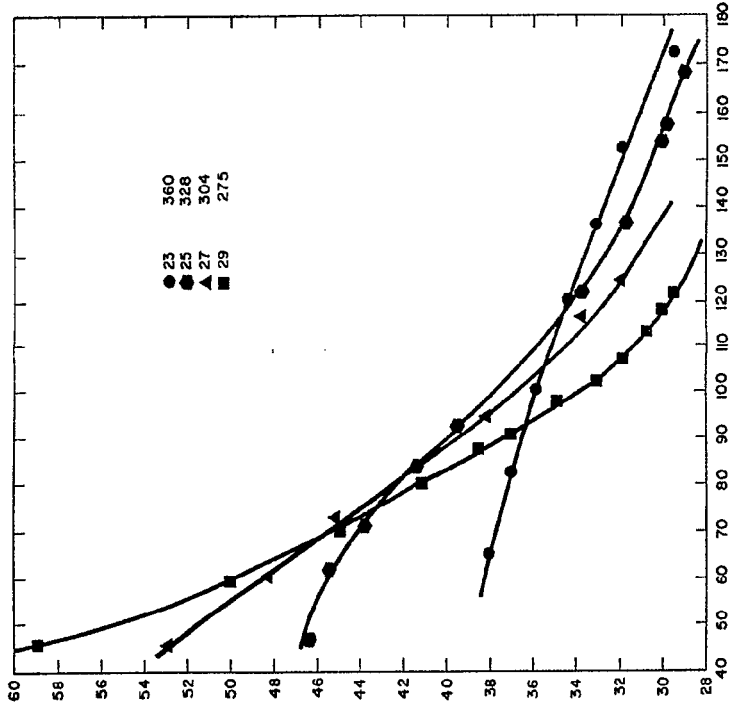


FIG. 7

*Order*



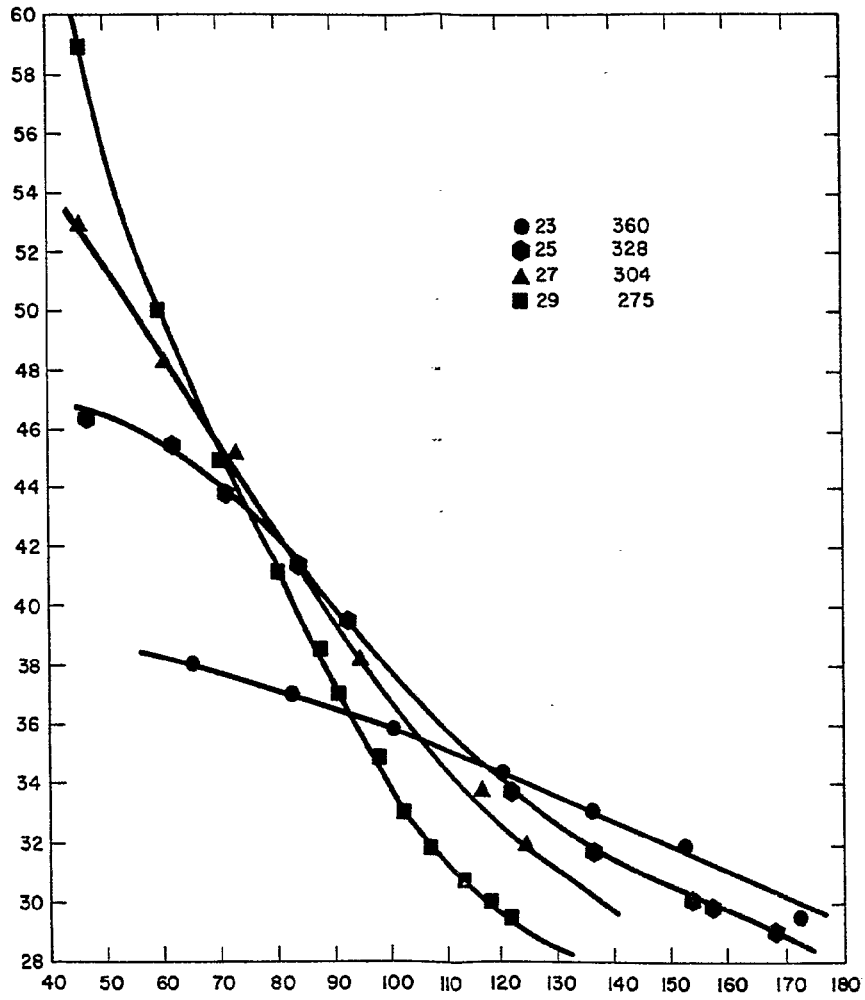


FIG. 7

*Arka*

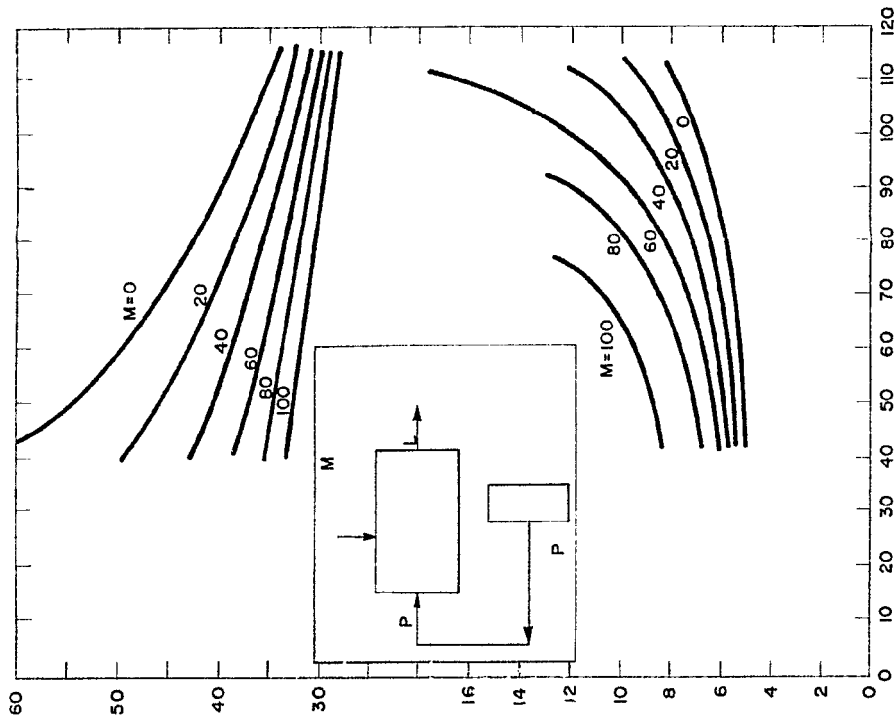


FIG. 9

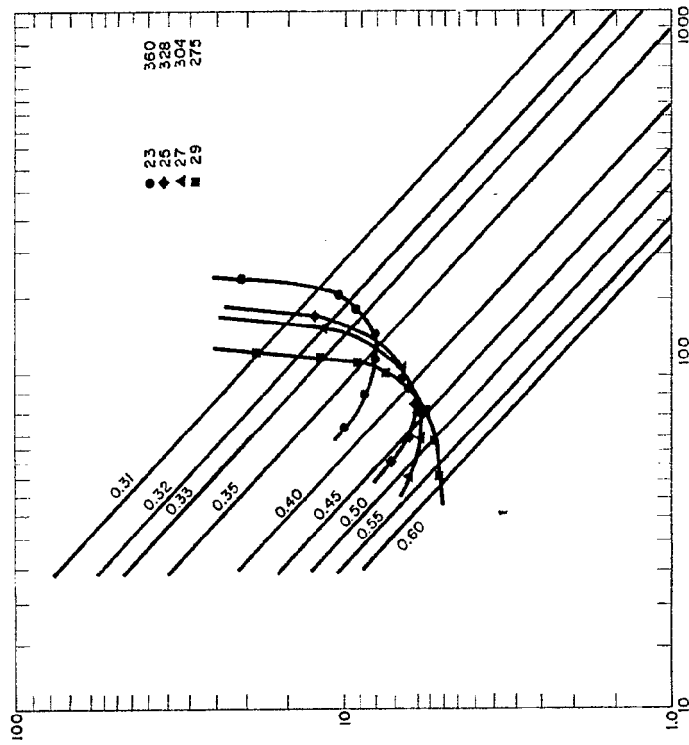


FIG. 8

*Arde*

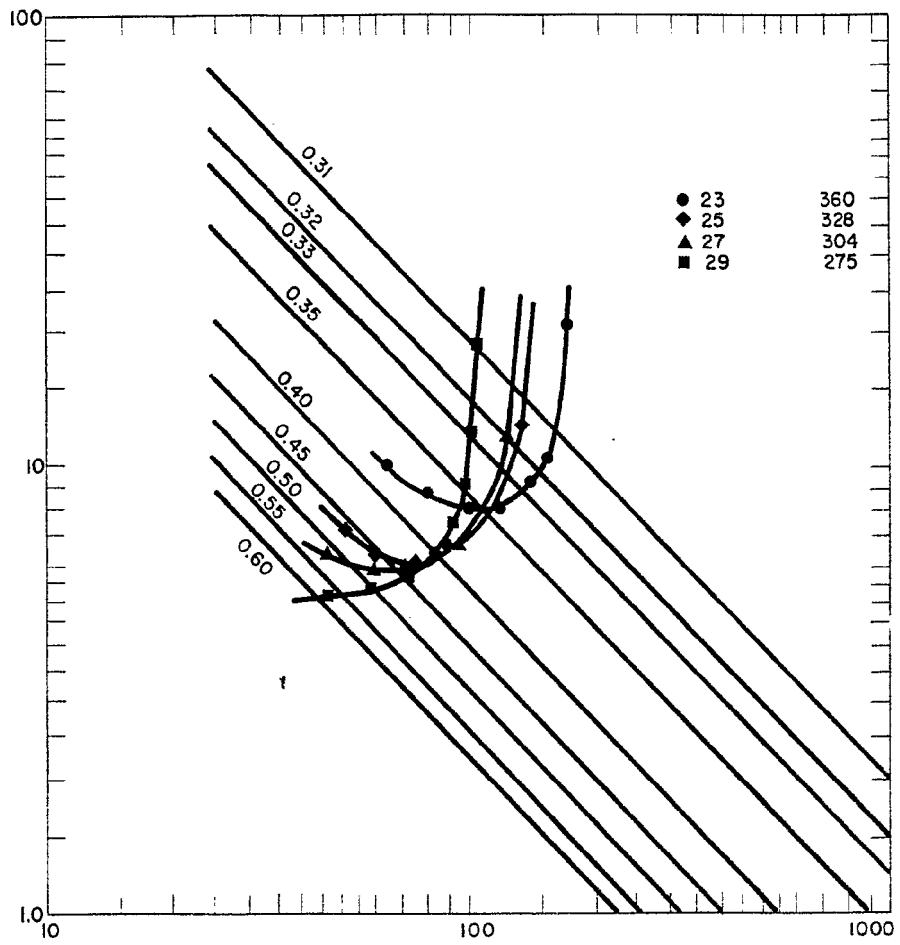


FIG. 8

60  
50  
40  
30  
16  
14  
12  
10  
8  
6  
4  
2  
0

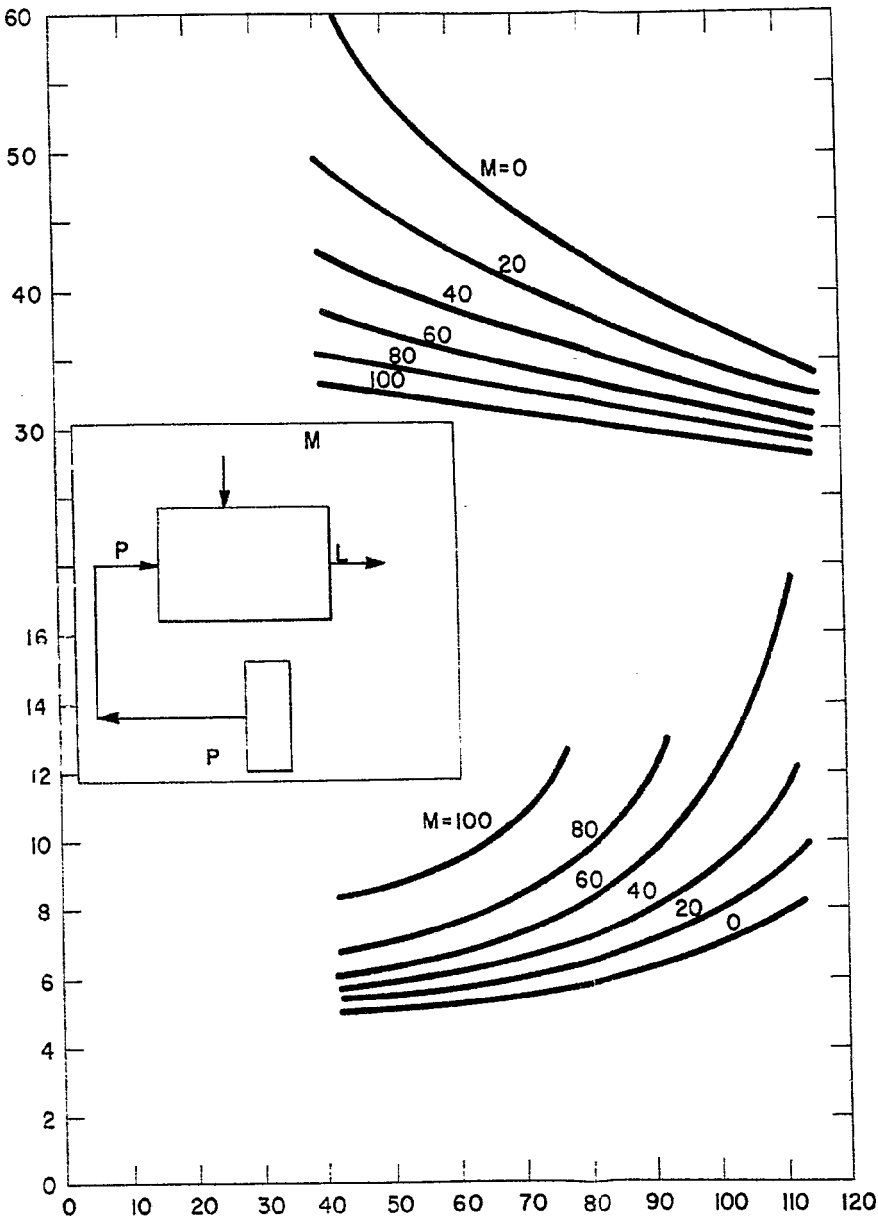


FIG. 9

*Arler*



*Order*

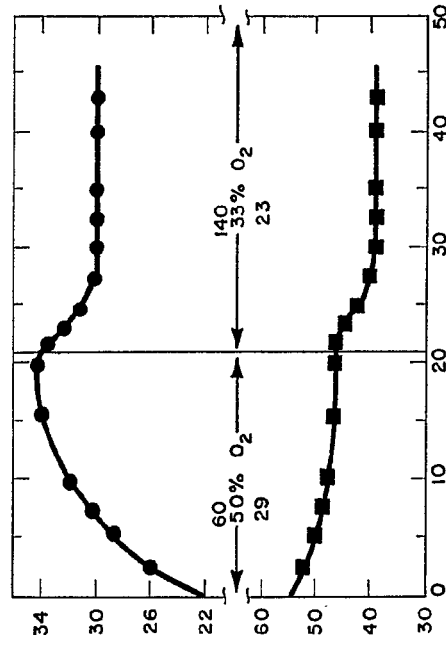


FIG. 10

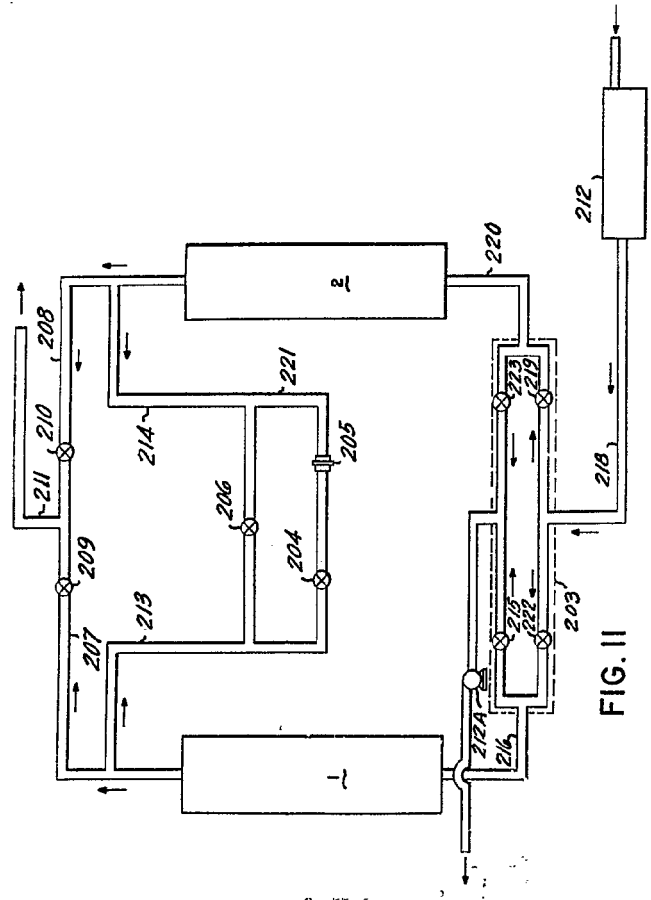


FIG. 11

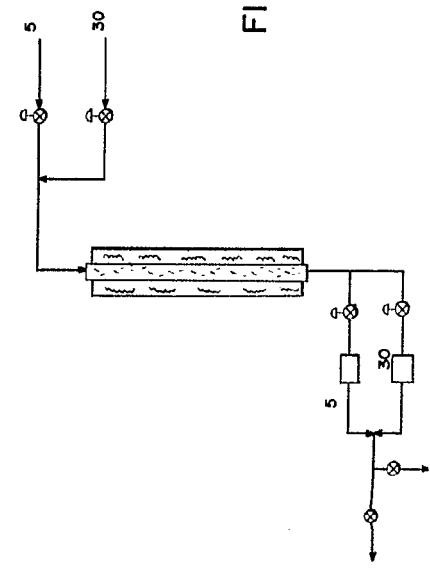


FIG. 12

ESCALA VARIABLE

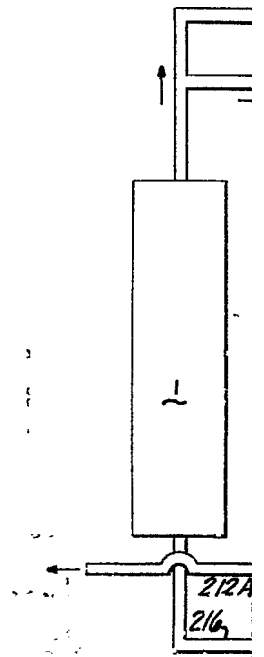
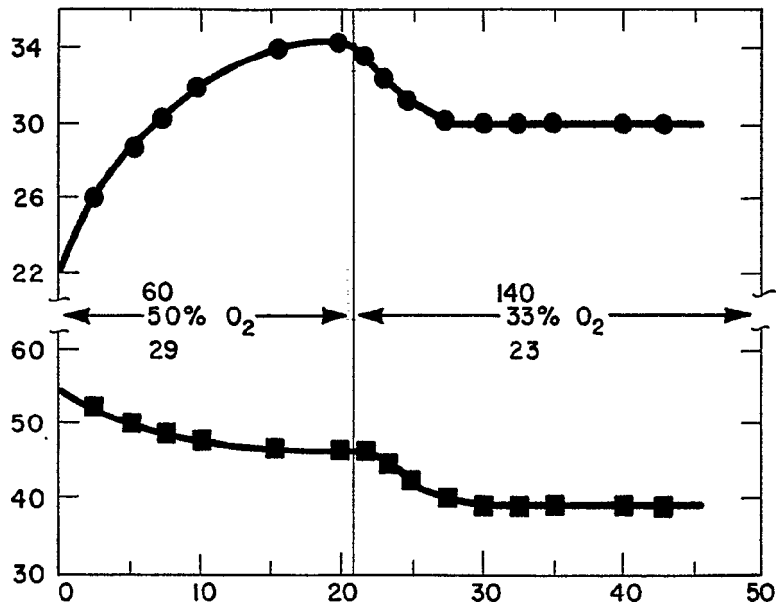
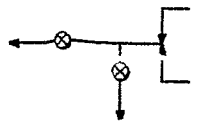


FIG. 10



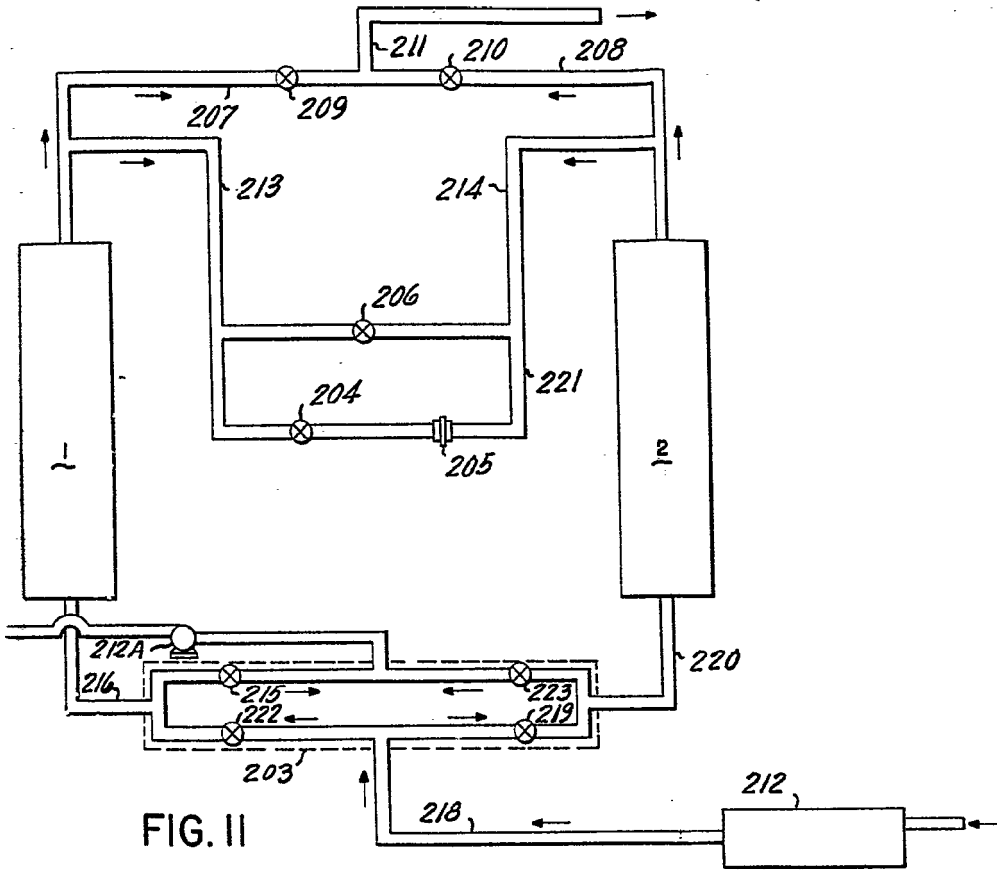


FIG. II

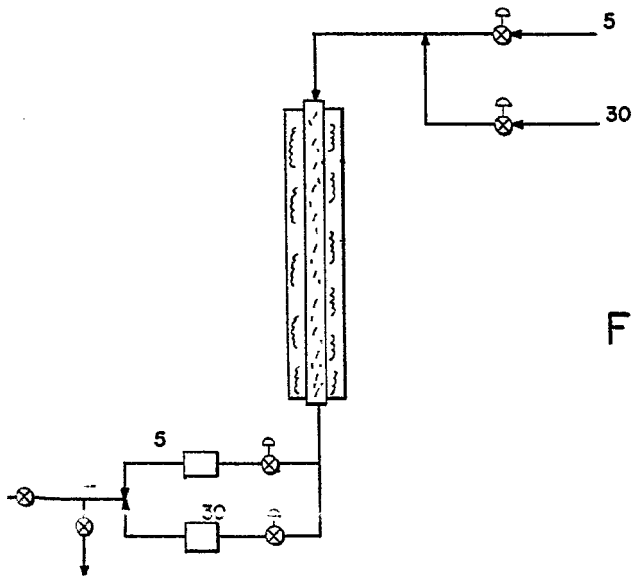


FIG. 12

*Archie*



FIG. 13

FIG. 13

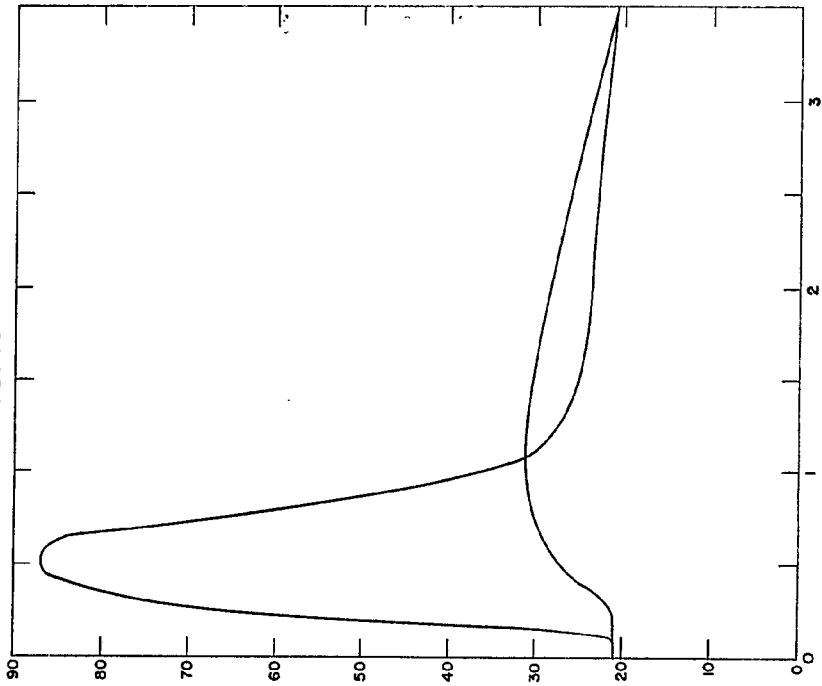
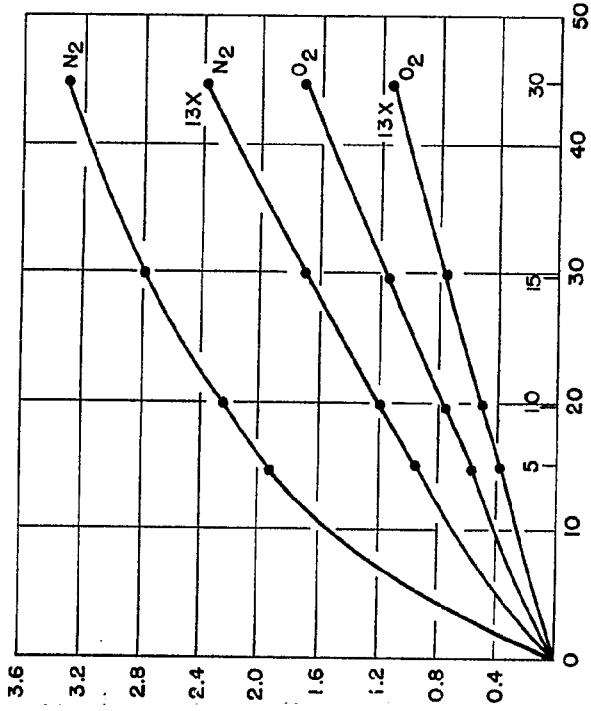


FIG. 14



Order

9. 156

FIG. 13

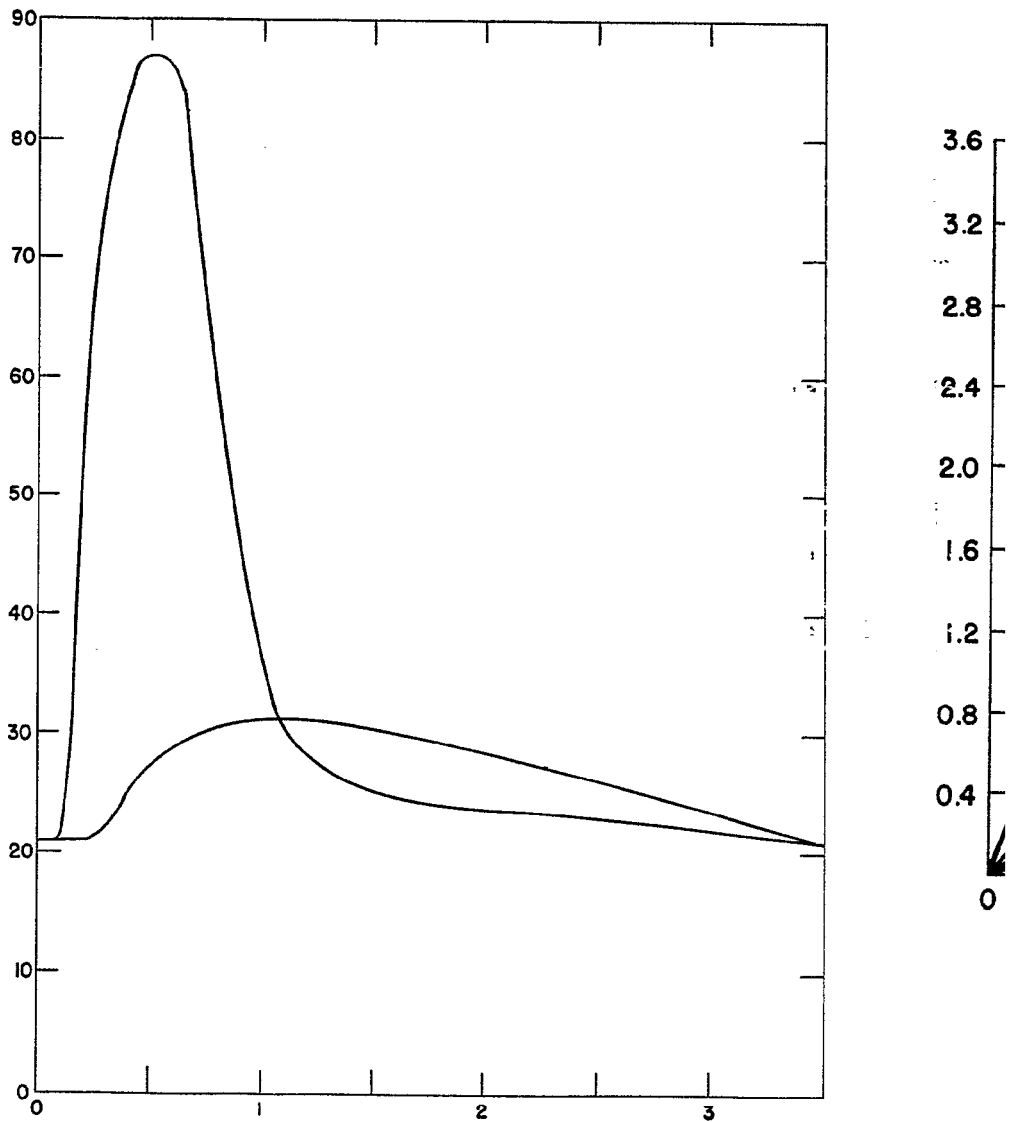
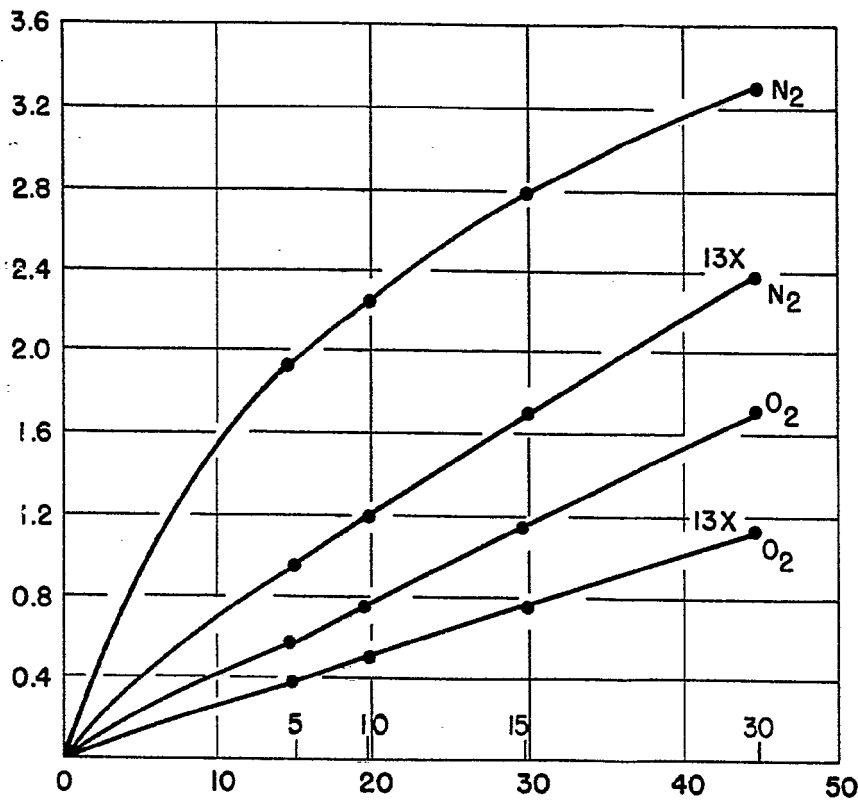




FIG. 14



*Arden*

320158

320158

FIG.16

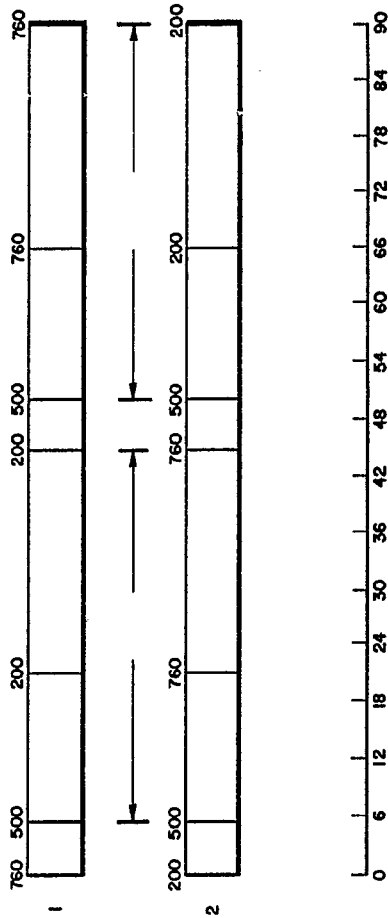
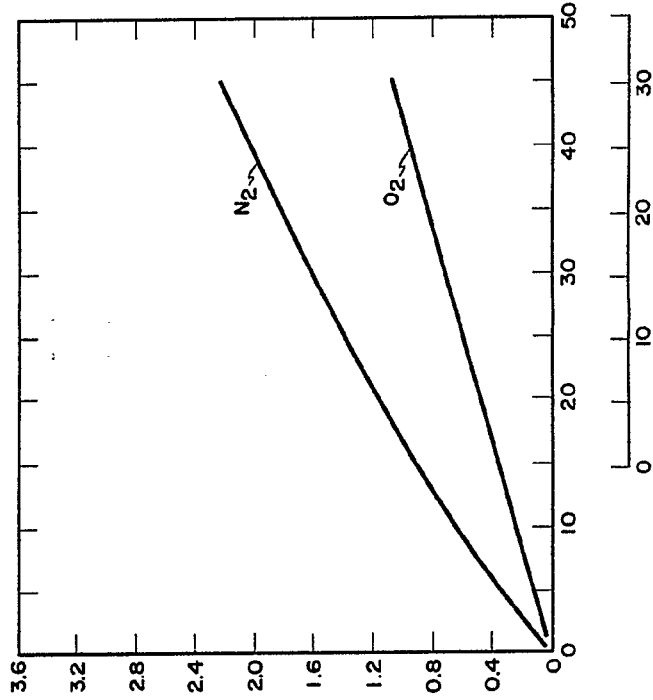


FIG.15

*Carla*

ESCALA VARIABLE

320156

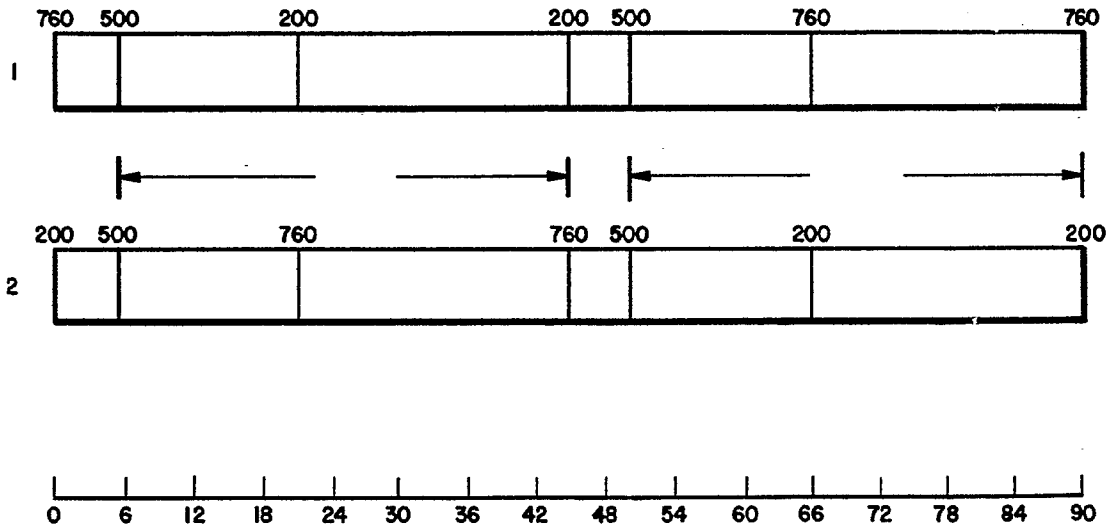
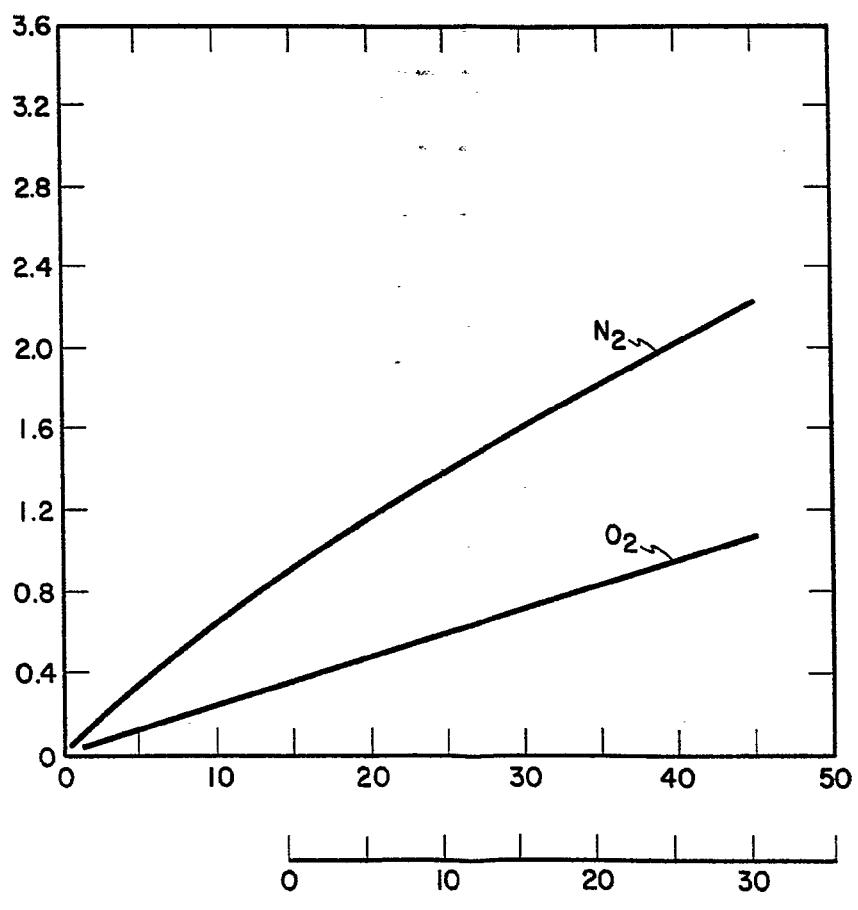


FIG. 15



370450

FIG. 16



*Arlo*

150

150

FIG. 17

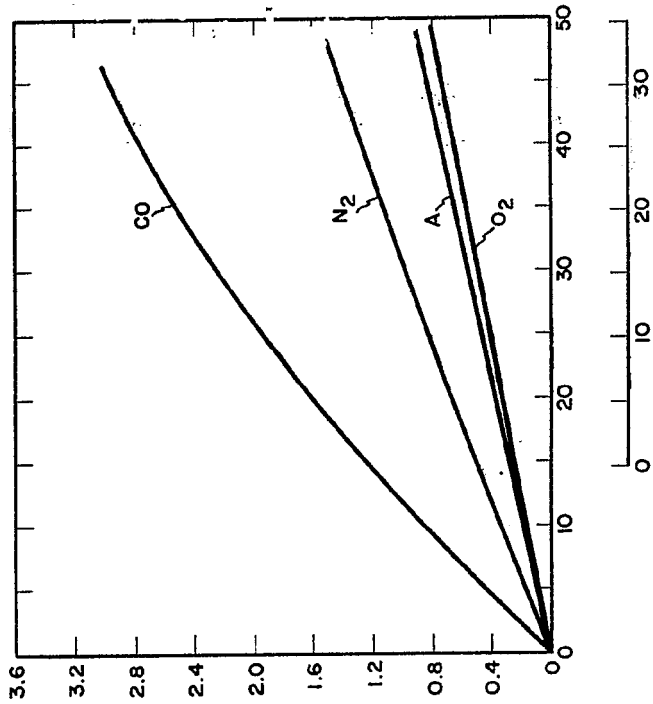


FIG. 18

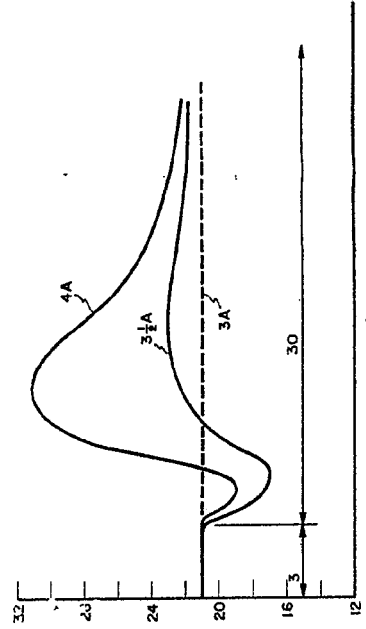
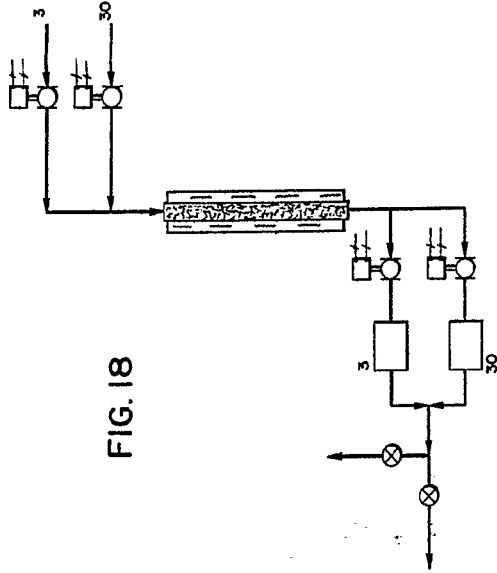


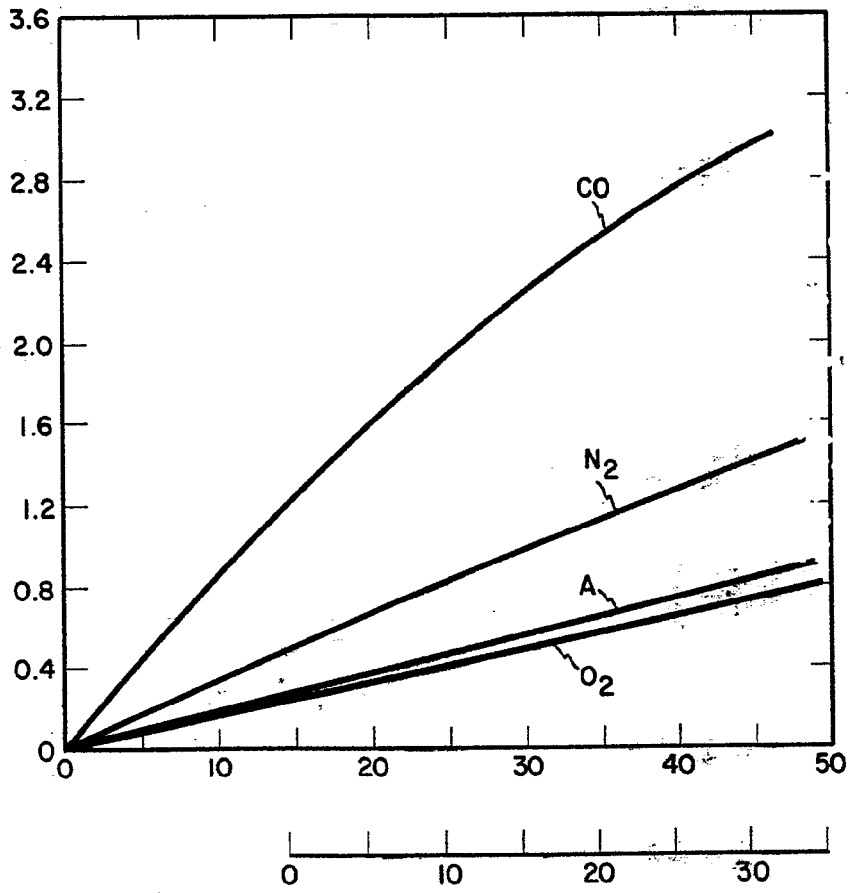
FIG. 19

*Arda*

ESCALA VARIABLE

25150

FIG.17





320156

FIG. 18

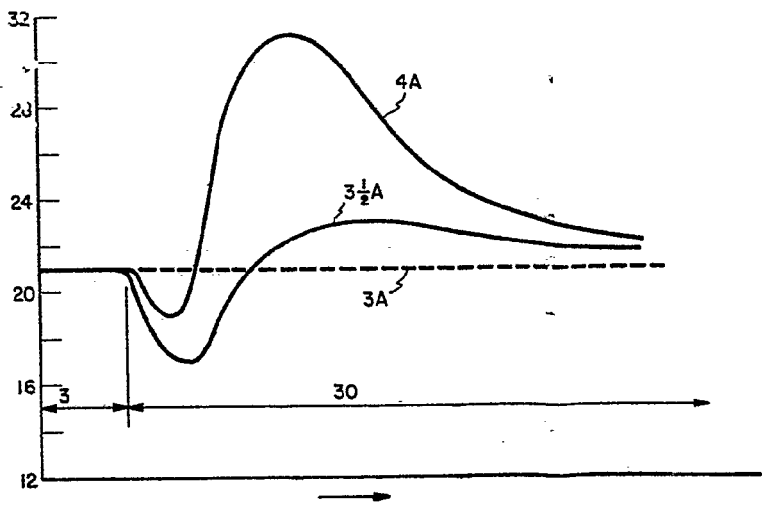
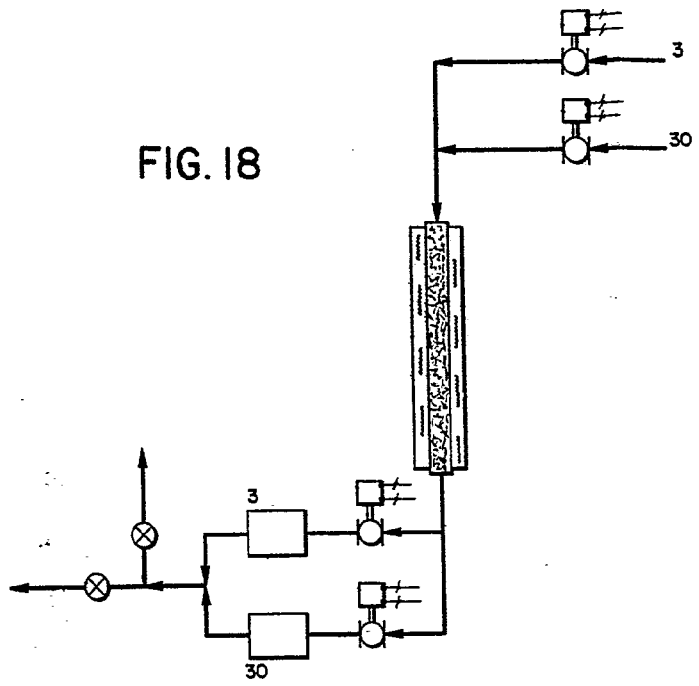


FIG. 19

*Arda*