

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 422 895**

51 Int. Cl.:

B01D 53/047 (2006.01)

A61M 16/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2005 E 05010785 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2013 EP 1598103**

54 Título: **Concentrador de oxígeno portátil de peso optimizado**

30 Prioridad:

21.05.2004 US 851858

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

16.09.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**OCCHIALINI, JAMES MICHAEL;
WHITLEY, ROGER DEAN;
WAGNER, GLENN PAUL;
LABUDA, MATTHEW JAMES y
STEIGERWALT, CRAIG E.**

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

ES 2 422 895 T3

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

DESCRIPCIÓN

Concentrador de oxígeno portátil de peso optimizado.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El suministro de oxígeno terapéutico a pacientes en hogares domésticos y otras aplicaciones residenciales es un segmento importante y creciente de la industria de cuidados de la salud. Un segmento de este mercado incluye el desarrollo y comercialización de concentradores de oxígeno portátiles, particularmente unidades que puedan transportarse fácilmente por los pacientes que requieran terapia de oxígeno continua. Se puede proporcionar un suministro de oxígeno que se transporte fácilmente y portátil mediante oxígeno líquido u oxígeno comprimido con un sistema de vaporización apropiado o de regulación de presión y una cánula de suministro de gas. Como alternativa y preferiblemente, se puede suministrar oxígeno por un pequeño dispositivo de separación de aire transportado por el paciente que suministra oxígeno gaseoso con la pureza, caudal y presión deseados. La energía para hacer funcionar el dispositivo puede proporcionarse por una fuente de alimentación recargable, típicamente una batería recargable. El pequeño dispositivo de separación de aire puede ser un sistema basado en adsorción que usa un proceso de adsorción de oscilación de presión (PSA).

La tasa de utilización de oxígeno respiratorio típicamente varía hasta aproximadamente 5 lpm (litros por minuto a 22 °C y 1 atmósfera de presión) para pacientes ambulatorios con exigencias relativamente reducidas de oxígeno. El diseño de un concentrador de oxígeno que se lleva fácilmente, recargable y portátil en esta gama de producto debe conseguir un equilibrio apropiado entre el caudal del gas del producto, el peso y la vida útil de la fuente de alimentación o el tiempo de realización (es decir, el tiempo operativo entre las recargas de la fuente de alimentación). Este equilibrio requiere la elección apropiada de numerosos parámetros de funcionamiento y de diseño y presenta un reto significativo para los diseñadores en ingeniería. En una pequeña unidad de separación de aire por adsorción, por ejemplo, los parámetros de diseño pueden incluir la pureza del producto, la presión de suministro del producto, el tipo de ciclo de procesos, la envolvente de la presión del ciclo de procesos, el adsorbente, el número y dimensiones de los lechos adsorbentes, el tipo de dispositivo de desplazamiento de gas, el tipo de fuente de alimentación, procedimientos de control del flujo de gas, sistemas de control eléctricos, y los materiales de construcción.

Existe la necesidad en la técnica de procedimientos para diseñar sistemas de generación de oxígeno basados en adsorción portátiles que proporcionen las velocidades de suministro de gas y los tiempos de realización requeridos con un peso del sistema mínimo. Esta necesidad puede cumplirse mediante procedimientos de optimización que permiten a los diseñadores equilibrar estos requisitos al mismo tiempo que se especifica un proceso y parámetros mecánicos apropiados para estos sistemas.

El documento WO 03/092817 A1 desvela un sistema de concentración de oxígeno portátil con un peso de 0,9-7 kg.

40 BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

Esta necesidad de un diseño optimizado de pequeños concentradores de oxígeno basados en adsorción que se transportan fácilmente se cumple por las diversas realizaciones de la presente invención. Como se describe en detalle en este documento, se ha descubierto que puede determinarse un intervalo de peso mínimo para un sistema basado en adsorción para cualquier combinación operativa de caudal de producto, pureza de producto, presión de suministro del producto y tiempo de realización. Esto puede conseguirse determinando el peso de cada componente del sistema de peso variable en función de un parámetro de proceso seleccionado, añadiendo los pesos de estos componentes a diversos valores del parámetro seleccionado, y generando una curva de peso variable frente al parámetro seleccionado. Esta curva muestra en general un peso mínimo en un intervalo preferido del parámetro de proceso seleccionado. El parámetro de proceso seleccionado es la presión mínima del lecho durante el ciclo de procesos.

La invención se refiere a un sistema concentrador de oxígeno portátil para producir un gas rico en oxígeno que comprende

- 55
- (a) un dispositivo de desplazamiento de gas primario que incluye un primer compresor adaptado para comprimir el aire atmosférico con el fin de proporcionar aire de alimentación a presión y un segundo compresor adaptado para comprimir un gas residual de presión subatmosférica a presión atmosférica, en el que el dispositivo de desplazamiento de gas primario está caracterizado por un peso W_p ;
 - 60 (b) un motor de accionamiento adaptado para accionar el primer y segundo compresores;
 - (c) una fuente de energía recargable adaptada para suministrar energía al motor de accionamiento, en el que la fuente de energía recargable está caracterizada por un peso W_b ; y
 - (d) una unidad de adsorción de oscilación de presión al vacío adaptada para separar el aire de alimentación presurizado en un producto rico en oxígeno a un caudal de producto F_p y un gas residual privado de oxígeno, en el que la unidad de adsorción comprende una pluralidad de lechos adsorbentes que contienen
- 65

ES 2 422 895 T3

un adsorbente, en el que la cantidad total del adsorbente contenido en los lechos adsorbentes está caracterizada por un peso de adsorbente total W_a ;

5 en el que el peso combinado, W_t , del adsorbente, del dispositivo de desplazamiento de gas primario, y de la fuente de energía recargable puede estar caracterizado por la expresión

$$0,75 F_p < W_t / 0,454 < 2,02 F_p$$

10 donde F_p está en litros por min (a 23 °C y 1 atma de presión) y W_a , W_p y W_b están en kg, en la que la fuente de alimentación recargable está caracterizada por un tiempo de realización operativo en horas, t_r , entre una carga de trabajo máxima y mínima, y el sistema está caracterizado adicionalmente por cada una de las expresiones

$$0,21 F_p < W_a / 0,454 < 0,61 F_p,$$

$$15 \quad 0,36 F_p < W_p / 0,454 < 0,70 F_p,$$

$$0,18 F_p < W_b / 0,454 < 0,71 F_p,$$

20 y

$$0,10 F_p t_r < W_b / 0,454 < 0,40 F_p t_r.$$

La pluralidad de lechos adsorbentes puede comprender cuatro o más lechos, y puede consistir en cuatro lechos.

25 Cada uno del primer y segundo compresores pueden seleccionarse entre el grupo que consiste en compresores en espiral, de diafragma, de pistón y rotativos de paletas. El primer y segundo compresores pueden ser compresores de tipo en espiral. El sistema puede comprender adicionalmente un conservante.

30 El sistema puede tener un peso total de menos de 5,44 kg (12 libras), puede tener un peso total de menos de 4,54 kg (10 libras), y puede tener un peso total de menos de 8 libras.

35 El adsorbente puede seleccionarse entre el grupo que consiste en zeolita X intercambiada con uno o más cationes metálicos seleccionados entre el grupo que consiste en litio, calcio, cinc, cobre, sodio, potasio y plata. Los lechos adsorbentes pueden comprender adicionalmente un adsorbente adicional selectivo para la adsorción de agua y dióxido de carbono del aire, y donde el adsorbente adicional se selecciona entre el grupo que consiste en (1) alúmina activada y (2) zeolita X intercambiada con uno o más cationes metálicos seleccionados entre el grupo que consiste en litio, sodio y potasio.

40 La fuente de energía recargable puede ser una batería. Como alternativa, la fuente de energía recargable puede ser una pila de combustible.

45 El sistema puede comprender adicionalmente una carcasa externa que rodea el dispositivo de desplazamiento de gas primario, el motor de accionamiento, la fuente de energía recargable, y el sistema de adsorción de oscilación de presión al vacío, y una pantalla/panel de control de usuario montado en el lado exterior de la carcasa. Este sistema puede tener un peso total de menos de 5,44 kg (12 libras), puede tener un peso total de menos de 4,54 kg (10 libras), y puede tener un peso total de menos de 3,63 kg (8 libras).

50 El sistema puede comprender adicionalmente elementos adicionales que incluyen cableado eléctrico y sistemas de control, una carcasa o alojamiento, y una pantalla/panel de control de usuario montado en el lado exterior del alojamiento, donde el sistema de generación de oxígeno y los elementos adicionales se combinan para formar un concentrador de oxígeno portátil, y medios para el usuario para llevar la unidad de concentrador portátil.

55 El sistema de adsorción de oscilación de presión al vacío puede tener cuatro lechos adsorbentes, y cada uno de los lechos adsorbentes puede someterse, a su vez, a una serie de etapas de ciclos de adsorción que comprenden

(A) una etapa de alimentación/preparación de un producto, en el que el aire de alimentación presurizado se introduce en un extremo de alimentación del lecho mientras que el gas de producto enriquecido con oxígeno se retira de un extremo del producto del lecho;

60 (B) una etapa de alimentación/preparación/suministro de represurización, en la que el aire de alimentación presurizado se introduce en un extremo de alimentación del lecho mientras que un gas de producto enriquecido con oxígeno se extrae de un extremo de producto del lecho, y en la que se usa una porción del gas de producto para presurizar otro lecho que se somete a su etapa de represurización final;

65 (C) una etapa de despresurización, en la que el lecho se despresuriza extrayendo gas del mismo, en la que al menos una porción del gas extraído del mismo se transfiere a otro lecho que se somete a una etapa de represurización;

(D) una etapa de suministro de purga, en la que el lecho se despresuriza adicionalmente extrayendo gas del mismo, en la que al menos una porción del gas extraído del mismo se transfiere a otro lecho que se somete a una etapa de purga;

5 (E) una etapa de evacuación, en la que el gas se extrae del extremo de alimentación hasta que el lecho alcance una presión subatmosférica mínima de lecho;

(F) una etapa de purga, en la que el lecho se purga introduciendo gas de purga en el extremo de producto del lecho continuando al mismo tiempo para evacuar el lecho, en la que el gas de purga proviene de otro lecho que se somete a la etapa (D);

10 (G) una etapa de represurización, en la que se introduce gas de presurización en el extremo de producto del lecho, en la que el gas de presurización proviene de otro lecho que se somete a la etapa (C); y

(H) una etapa de represurización final, en la que el gas de producto de otro lecho se introduce en el extremo de producto del lecho.

15 La presión mínima del lecho puede estar entre 0,25 y 1,0 atma, y puede estar entre 0,45 y 0,8 atma. La presión del gas de producto enriquecido con oxígeno puede estar entre 1,2 y 1,6 atma. El gas de producto enriquecido con oxígeno puede proporcionarse a un caudal en el intervalo de 0,5 a 3,0 litros por min (definido a 23 °C y 1 atma de presión).

20 El sistema de la invención puede diseñarse de acuerdo con un procedimiento que comprende

(a) definir unos parámetros de diseño que incluyen al menos un caudal de producto, una pureza del producto, una presión de suministro de producto, un ciclo del proceso de adsorción por oscilación de presión al vacío, el número de recipientes adsorbentes, un adsorbente contenido en los recipientes adsorbentes, el tipo de dispositivo de desplazamiento de gas, el tipo de fuente de alimentación regenerable para proporcionar energía al motor de accionamiento, y el tiempo de realización de la fuente de alimentación regenerable entre la carga de trabajo máxima y mínima;

25 (b) seleccionar una serie de presiones mínimas de los lechos por debajo de la presión atmosférica y determinar para cada una de las presiones mínimas de los lechos el peso requerido del dispositivo de desplazamiento de gas, de la fuente de alimentación, y el adsorbente contenido en los recipientes adsorbentes, en el que cada presión mínima del lecho es una presión de lecho más baja en el ciclo del proceso de adsorción por oscilación de presión al vacío;

30 (c) añadir el peso del adsorbente, del dispositivo de desplazamiento de gas, y de la fuente de alimentación determinados en (b) para cada valor de la presión mínima del lecho con el fin de proporcionar un peso total del adsorbente, del dispositivo de desplazamiento de gas, y de la fuente de alimentación en función de la presión mínima del lecho; y

35 (d) seleccionar un intervalo de las presiones mínimas de los lechos que corresponda a un intervalo de un peso mínimo combinado del adsorbente, del dispositivo de desplazamiento de gas y de la fuente de alimentación.

40 El intervalo de presiones mínimas de los lechos puede estar entre 0,45 y 0,8 atma.

BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

45 La figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de adsorción de oscilación de presión al vacío ejemplar para las realizaciones de la presente invención.

50 La figura 2 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a la presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una primera realización de la invención.

La figura 3 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a la presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una segunda realización de la invención.

55 La figura 4 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a la presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una tercera realización de la invención.

60 La figura 5 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a la presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una cuarta realización de la invención.

65 La figura 6 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a la presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una quinta realización de la invención.

La figura 7 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a la presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una sexta realización de la invención.

5 La figura 8 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a la presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una séptima realización de la invención.

10 La figura 9 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cinco lechos que ilustra una octava realización de la invención.

15 La figura 10 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una primera realización alternativa de la invención.

20 La figura 11 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una segunda realización alternativa de la invención.

La figura 12 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una tercera realización alternativa de la invención.

25 La figura 13 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una cuarta realización alternativa de la invención.

30 La figura 14 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima de lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una quinta realización alternativa de la invención.

35 La figura 15 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una sexta realización alternativa de la invención.

40 La figura 16 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una séptima realización alternativa de la invención.

La figura 17 es un gráfico de pesos variables de componentes individuales y el peso variable total de los componentes frente a una presión mínima del lecho para un sistema PVSA de cuatro lechos que ilustra una octava realización alternativa de la invención.

45 La figura 18 es un gráfico de pesos adsorbentes frente al caudal de producto para los Ejemplos 1-16.

La figura 19 es un gráfico de los pesos del dispositivo de desplazamiento de gas primario frente al caudal de producto para los Ejemplos 1-16.

50 La figura 20 es un gráfico del peso de la batería frente al caudal de producto para los Ejemplos 1-16.

La figura 21 es un gráfico de los pesos de la batería de tiempo normalizado frente al caudal de producto para los Ejemplos 1-16.

55 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Las realizaciones de la invención descrita en este documento se refieren a procedimientos para diseñar y optimizar el peso de pequeños sistemas de adsorción de oscilación de presión/al vacío (PVSA) utilizados, por ejemplo, en sistemas concentradores de oxígeno médicos portátiles y transportados por el usuario. Se descubrió en el desarrollo de las realizaciones de la presente invención que puede determinarse un peso mínimo o un intervalo deseable de pesos para el sistema PVSA para cualquier combinación operativa de caudal de producto, pureza del producto, presión de suministro de producto y tiempo de realización. Esto puede conseguirse determinando el peso de cada componente del sistema de peso variable en función de un parámetro de proceso seleccionado, añadiendo el peso de estos componentes al diversos valores del parámetro seleccionado, y generando una curva de peso variable frente al parámetro seleccionado. Esta curva generalmente muestra un peso mínimo deseable o un intervalo de

pesos mínimos en función del parámetro de proceso seleccionado. Este parámetro de proceso seleccionado puede ser la presión mínima del lecho durante la regeneración en el ciclo PVSA.

5 En el proceso PVSA descrito en este documento, las presiones del lecho adsorbente varían entre la presión superatmosférica y la presión subatmosférica durante cada ciclo como se describe a continuación. Esto difiere de un proceso de adsorción de oscilación de presión (PSA) en el que el intervalo de presión operativa incluye presiones del lecho por encima de la presión atmosférica, y puede incluir presiones del lecho que se acercan a la presión atmosférica al final de la etapa de despresurización. No se utilizan presiones subatmosféricas en un proceso PSA.

10 Un proceso y sistema PVSA ejemplar que puede diseñarse de acuerdo con las realizaciones de la invención se muestra con fines ilustrativos en la figura 1. El aire atmosférico 1 se extrae a través del filtro 3, el silenciador de admisión 5 y la línea 7 mediante el primer compresor o el compresor de aire de alimentación 9. El compresor de aire de alimentación 9 es una parte del dispositivo de desplazamiento de gas primario 11 que también incluye un motor de accionamiento 13 y el segundo compresor o compresor de gas residual al vacío 15. El aire de alimentación presurizado de 1,15 a 1,80 atma se descarga del compresor y fluye a través de la línea de alimentación de aire 17 hasta el conjunto de válvulas rotativas 19, que está en comunicación fluida con las líneas de alimentación del lecho adsorbente 21, 23, 25, 27 y 29, las líneas de producto del lecho adsorbente 31, 33, 35, 37 y 39, la línea de alimentación de aire 17, la línea de producto 51 y la línea de gas residual 53. En este sistema PVSA ejemplar, se usan cinco lechos adsorbentes 41, 43, 45, 47 y 49, aunque puede usarse cualquier número de múltiples lechos. Si se desea, puede usarse un depósito de almacenamiento de gas de producto opcional (no mostrado). Puede conectarse una cánula (no mostrada) a la línea de producto 51 para suministrar gas de producto al usuario.

25 Cada lecho adsorbente contiene un adsorbente selectivo para la adsorción de agua, dióxido de carbono y nitrógeno del aire. Este adsorbente puede seleccionarse entre el grupo que consiste en zeolita X intercambiada con uno o más cationes metálicos seleccionados entre el grupo que consiste en litio, calcio, cinc, cobre, sodio, potasio y plata. La zeolita X puede tener una proporción de silicio con respecto a aluminio de aproximadamente 1 a aproximadamente 1,25. El adsorbente puede formarse en perlas, extrudados u otras formas conocidas en la técnica, usando materiales aglutinantes o sin materiales aglutinantes (también conocidos como sin ligante). Típicamente, el adsorbente adsorbe agua y dióxido de carbono con más intensidad que nitrógeno y, por lo tanto, el adsorbente inicial adyacente a la entrada de aire de alimentación de un adsorbedor eliminará con preferencia el agua y el dióxido de carbono. Después, el aire seco y sin dióxido de carbono de esta región de adsorbente inicial pasa al resto del adsorbente en el adsorbedor, donde el nitrógeno se adsorbe selectivamente para proporcionar el gas de producto enriquecido con oxígeno. El adsorbente inicial adyacente a la entrada de aire de alimentación proporciona así un tratamiento previo eliminando el agua y el dióxido de carbono antes de la eliminación del nitrógeno.

35 Opcionalmente, cada lecho adsorbente puede contener un adsorbente de tratamiento previo selectivo para la adsorción de agua y dióxido de carbono del aire, y este adsorbente puede seleccionarse entre el grupo que consiste en (1) alúmina activada y (2) zeolita X intercambiada con uno o más cationes metálicos seleccionados entre el grupo que consiste en litio, sodio y potasio. Típicamente, el adsorbente selectivo de agua (si se usa) formará una capa localizada adyacente al extremo de alimentación del lecho adsorbente y puede comprender del 10 al 40% del adsorbente total en el lecho adsorbente. En esta opción, el resto del lecho contendrá el adsorbente que se ha descrito anteriormente y adsorberá selectivamente el nitrógeno del aire sin agua ni dióxido de carbono de la capa de adsorbente de tratamiento previo.

45 El compresor de gas residual al vacío 15 extrae el gas residual por PVSA privada de oxígeno a través de la línea 53, típicamente a presión subatmosférica, y descarga el gas a través de la línea 57 y el silenciador 57 a la atmósfera. Se proporciona energía eléctrica para el motor de accionamiento 13 gracias a la fuente de energía recargable 59, que puede ser una batería recargable de cualquier tipo conocido en la técnica. Como alternativa, la fuente de energía recargable puede ser un sistema de pila de combustible portátil que comprende una pila de combustible y un medio de almacenamiento de combustible portátil. El combustible puede ser hidrógeno o metanol.

55 El compresor de aire de alimentación 9 y el compresor de gas residual al vacío 15 pueden ser cualquier tipo de compresor conocido en la técnica, y pueden seleccionarse entre compresores en espiral, de diafragma, de pistón y rotativos de paletas. Los compresores de aire de alimentación y de gas residual al vacío pueden accionarse en tándem mediante un solo motor de accionamiento y pueden accionarse por un árbol motor común. Los compresores en espiral son ideales para el servicio con el dispositivo de separación de aire descrito en este documento. El compresor de aire de alimentación 9 y el compresor de gas residual al vacío 15 pueden combinarse en un solo dispositivo de desplazamiento de gas primario de tipo espiral combinado.

60 El conjunto de válvulas rotativas 19 está diseñado para un ciclo PVSA específico y un número específico de lechos adsorbentes. El conjunto incluye una primera válvula rotativa conectada a las líneas 21, 23, 25, 27 y 29 que se fijan a los extremos de alimentación de los lechos adsorbentes 41, 43, 45, 47 y 49, respectivamente. La primera válvula rotativa también está conectada a la línea de alimentación de aire 17 y la línea de gas residual 53. Esta primera válvula rotativa permite una comunicación fluida apropiada entre cualquiera de los extremos de alimentación de los lechos adsorbentes, la línea de alimentación de aire, y la línea de gas residual de acuerdo con las etapas del ciclo

65

de procesos predeterminadas como se describe a continuación. Una segunda válvula rotativa está conectada a las líneas 31, 33, 35, 37 y 39 que se fijan a los extremos de producto de los lechos adsorbentes, respectivamente, y también está conectada a la línea de producto 51. Esta segunda válvula rotativa permite una comunicación fluida apropiada entre cualquiera de los extremos de producto de los lechos adsorbentes y la línea de producto de acuerdo con las etapas del ciclo de procesos predeterminadas como se describe a continuación. Las dos válvulas rotativas pueden funcionar gracias a un solo motor de accionamiento y pueden girar en el mismo sentido rotacional. Se describen válvulas rotativas de este tipo, por ejemplo, en la solicitud de patente de Estados Unidos relacionada US 2004/0094216 A1.

- 5
- 10 El funcionamiento del sistema PVSA de la figura 1 puede ilustrarse por un ciclo PVSA ejemplar resumido en la Tabla 1.

Tabla 1		
Etapas del Ciclo de Procesos para el Sistema PVSA Ejemplar		
Etapa Número	Descripción	Duración, s
1	Alimentar/Preparar producto/Proporcionar purga	1,0
2	Alimentar/Preparar producto/Proporcionar gas de represurización	1,0
3	Proporcionar 1 ^{er} gas de represurización	1,0
4	Proporcionar 2 ^o gas de represurización	1,0
5	Etapa inactiva	1,0
6	Evacuación	1,0
7	Purga con gas de producto	1,0
8	Recibir 2 ^o gas de represurización	1,0
9	Recibir 1 ^{er} gas de represurización	1,0
10	Represurizar con gas de producto	1,0

- 15 Durante la parte inicial de la Etapa 1, la etapa de alimentación, puede haber un corto periodo de presurización de alimentación antes de que el gas de producto fluya del lecho. Durante la evacuación en la Etapa 6, se consigue una presión mínima del lecho, que se define como la menor presión durante esta etapa. La duración de este ciclo de 10 segundos ejemplar, o la duración de cualquier etapa en el ciclo, puede modificarse según sea necesario para cumplir diversos requisitos del proceso o del producto.

- 20 Se proporciona un cuadro del ciclo en la Tabla 2 para mostrar la relación de las etapas del ciclo entre los cinco lechos adsorbentes, en las que cada lecho, a su vez, atraviesa las etapas 1-10 de la Tabla 1.

Tabla 2										
Cuadro del Ciclo PVSA										
Lecho	Número de etapa									
41	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
43	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8
45	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
47	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
49	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2

- 25 El uso de las Tablas 1 y 2 junto con la figura 1 permitirá al experto en la técnica entender este ciclo de procesos PVSA ejemplar. Si es necesario, pueden hacerse modificaciones a este ciclo particular, y pueden usarse otros tipos de ciclos PVSA según sea apropiado.

- 30 Como una realización alternativa al sistema y ciclo PVSA de cinco lechos que se ha descrito anteriormente, puede usarse un sistema y un ciclo de cuatro lechos. Este sistema de cuatro lechos será una modificación del sistema de la figura 1, en el que se eliminan el lecho adsorbente 49, la línea de alimentación del lecho adsorbente 29 y la línea de producto adsorbente 39. Se diseñará una válvula rotativa 19 para cuatro lechos en lugar de cinco lechos. En este ciclo alternativo, únicamente se usa una etapa de transferencia de gas de presurización en comparación con dos etapas de este tipo en el ciclo de cinco lechos de la Tabla 1. La Tabla 3 presenta las etapas del ciclo de cuatro lechos y la Tabla 4 presenta un cuadro del ciclo para el ciclo de cuatro lechos (ha de apreciarse que el lecho 49 de la figura 1 se elimina para el sistema de cuatro lechos).
- 35

Tabla 3		
Etapas del Ciclo de Procesos para el Sistema PVSA de 4 Lechos Ejemplar		
Etapa Número	Descripción	Duración, s
1	Alimentar/Preparar producto	1,0
2	Alimentar/preparar producto/Proporcionar gas de represurización	1,0
3	Proporcionar gas de represurización	1,0
4	Proporcionar purga	1,0
5	Evacuación	1,0
6	Purga	1,0
7	Recibir gas de represurización	1,0
8	Represurizar con el gas de producto	1,0

Tabla 4								
Cuadro del Ciclo PVSA de 4 Lechos								
Lecho	Etapa Número							
41	1	2	3	4	5	6	7	8
43	7	8	1	2	3	4	5	6
45	5	6	7	8	1	2	3	4
47	3	4	5	6	7	8	1	2

5 Un sistema concentrador de oxígeno portátil y transportado por el usuario completo incluye típicamente varios componentes además de los ilustrados por el sistema PVSA ejemplar de la figura 1. Estos componentes adicionales pueden incluir, por ejemplo, cualquiera de las siguientes características: cableado eléctrico y sistemas de control; elementos estructurales; una carcasa o alojamiento; una pantalla/panel de control de usuario montado en el lado exterior del alojamiento; un conservante; un depósito de producto; y medios para que el usuario transporte la unidad de concentrador, tal como un mando, una correa de transporte o correas dobles para los hombros. Por lo tanto, el peso total del sistema concentrador portátil transportado por el usuario es el peso combinado de (a) los componentes de peso variable que se han descrito anteriormente (es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería) y (b) los componentes adicionales que se han descrito inmediatamente antes.

15 Los sistemas concentradores de oxígeno portátiles transportados por el usuario, tales como los que se han descrito anteriormente usando cuatro o cinco lechos, pueden diseñarse para cumplir unos criterios deseables, tales como, por ejemplo, un flujo de producto de oxígeno continuo de hasta 3 lpm, un peso fácil de transportar, y un tiempo operativo en una recarga de una sola fuente de alimentación de al menos 1-2 horas. Un sistema que cumpla estos criterios proporcionará más libertad y un nivel de vida superior a un paciente ambulatorio, y será una oferta de producto atractivo para un proveedor de concentradores de oxígeno.

25 Las realizaciones del sistema concentrador de oxígeno PVSA que se han descrito anteriormente satisfacen preferiblemente estos criterios y proporcionan al paciente un producto enriquecido con oxígeno de al menos el 85% en mol de pureza de oxígeno. El sistema concentrador de oxígeno portátil debe transportarse fácilmente por el paciente y tener un peso total de menos de 5,44 kg (12 libras), preferiblemente menos de 4,54 kg (10 libras), y mucho más preferiblemente menos de 3,63 kg (8 libras). Puesto que los pacientes que necesitan terapia de oxígeno generalmente están enfermos, es extremadamente importante conseguir un peso mínimo del sistema. Como se ha mencionado anteriormente, el diseño de estos sistemas para conseguir un peso mínimo es un importante desafío de la ingeniería.

30 Cuando el caudal de producto, la pureza del producto, la presión de suministro de producto y el tiempo de realización del sistema se especifican, el peso total del sistema concentrador de oxígeno consiste en algunos componentes cuyo peso dependerá de las condiciones operativas del ciclo PVSA y otros componentes cuyo peso es básicamente independiente de las condiciones operativas del ciclo PVSA. En este escenario, los componentes de peso incluyen la fuente de alimentación (por ejemplo una batería), el peso del adsorbente en los lechos adsorbentes, y el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario, es decir, el compresor de aire de suministro y el compresor de gas residual al vacío en combinación. El peso de los demás componentes en este escenario es independiente de la selección del caudal de producto, la pureza del producto, la presión de suministro de producto y el tiempo de realización del sistema. Por lo tanto, el peso total del sistema concentrador de oxígeno puede reducirse al mínimo seleccionando condiciones operativas del ciclo PVSA que minimicen el peso de los componentes de peso variable.

Las realizaciones de la presente invención se refieren a procedimientos para minimizar el peso de los componentes

de peso variable optimizando las condiciones operativas del ciclo PVSA como se describe a continuación. La reducción del peso de los componentes de peso fijo (es decir, aquellos componentes cuyo peso es básicamente independiente de las condiciones operativas del ciclo PVSA) puede ser posible mediante mejoras en los materiales, el diseño del motor, los sistemas eléctricos, y similares, pero estos no se abordan por las realizaciones de la presente invención.

El requisito del peso del adsorbente puede determinarse por la cantidad de adsorbente requerido para eliminar el nitrógeno del aire de alimentación de tal forma que se consiga una pureza del producto de oxígeno deseada. El requisito del peso del adsorbente puede determinarse por la relación

$$W_a = \frac{n_{ads}}{n} * \frac{1}{B}$$

donde n_{ads} es los moles de nitrógeno que se eliminarán por segundo, n es la capacidad de trabajo del nitrógeno en moles de nitrógeno adsorbidos por el adsorbente en un lecho adsorbente durante un ciclo del lecho, y B es la velocidad a la que un lecho adsorbente reciente está disponible para la alimentación en lechos/min, y se determina por el tiempo del ciclo PVSA. El parámetro n_{ads} puede determinarse por:

$$n_{ads} = \frac{Q_p y_{O_2,p} y_{N_2,f}}{\theta_{O_2} y_{O_2,f}}$$

donde Q_p es el flujo de producto en moles por minuto, $y_{O_2,p}$ es la pureza del producto en porcentaje de oxígeno, $y_{N_2,f}$ es la concentración de nitrógeno en la alimentación en porcentaje, θ_{O_2} es la recuperación de oxígeno en porcentaje (es decir, el porcentaje del oxígeno en el gas de alimentación que está presente en el gas de producto), y $y_{O_2,f}$ es la concentración de oxígeno en la alimentación en porcentaje. La capacidad de trabajo del nitrógeno del adsorbente depende de la envolvente de presión a la que se expone el adsorbente. El procedimiento preferido para determinar la capacidad de trabajo del adsorbente es medir las isoterias del componente puro de oxígeno y de nitrógeno a múltiples temperaturas a partir de las cuales puede determinarse para la aplicación del modelo de Langmuir de sitio dual [véase Myers, A. L., Activity Coefficients of Mixtures Adsorbed on Heterogeneous Surfaces, AIChE J. 1983 (29), 691]

$$n_i = \frac{M_1 b p}{1 + b p} + \frac{M_2 d p}{1 + d p}$$

donde M_p , b , M_2 y d son parámetros de ajuste y p es presión. Después, el modelo de Langmuir se usa para determinar la capacidad de trabajo por medio de modelos de adsorción multicomponente, concretamente la teoría de la solución ideal adsorbida (IAST) [véase Myers, A. L. y Prausnitz, J. M., Thermodynamics of Mixed Gas Adsorption, AIChE J. 1965 (1), 11] o más preferiblemente la teoría de la solución ideal adsorbida heterogénea (HIAST) [véase Mathias P. M. y col., Correlation of Multicomponent Gas Adsorption by the Dual-Site Langmuir Model. Application to Nitrogen/Oxygen Adsorption on 5A Zeolite, Ind. & Eng. Chem Res. 1996 (35), 7].

El peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario (es decir, el peso combinado del compresor de aire de alimentación y el compresor de gas residual al vacío), W_p , puede determinarse en base a los requisitos de los dos compresores para proporcionar gas a las presiones especificadas durante la etapa de alimentación del ciclo y el caudal requerido durante las etapas de vacío y purga del ciclo. El peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario variará en base a la geometría del compresor; por ejemplo, el tamaño de la envolvente en un compresor en espiral variará en base a la proporción de compresión del gas. El peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario no incluye el motor eléctrico, que impulsa el dispositivo de desplazamiento de gas primario y se considera un peso fijo para el presente análisis, en el que el motor puede funcionar a diversas velocidades dependiendo del gas de alimentación requerido y la carga de compresión del gas residual. El peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario se determina para que sea proporcional a la velocidad de producción de oxígeno para el presente análisis. El peso de la fuente de energía recargable, en este caso una batería, puede optimizarse aplicando la relación de la descarga de energía a los requisitos durante la duración del ciclo PVSA. La potencia suministrada por la batería a los demás componentes del generador de oxígeno (alarmas, motor de válvula, etc.) puede ser aproximadamente 5 W. La potencia requerida de la batería para hacer funcionar el compresor de aire de alimentación y el compresor de gas residual al vacío puede determinarse directamente por la potencia adiabática de la compresión en base a las presiones usadas durante los ciclos PVSA. La potencia adiabática se da por la expresión

$$P_{ad} = \frac{mkRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} - 1 \right]$$

5 donde m es el caudal de la masa, R es la constante del gas, T_1 es la temperatura del gas de entrada, p_2 es la presión del gas de salida, p_1 es la presión del gas de entrada al compresor, y k es la relación de la capacidad termina a una presión constante con respecto a la capacidad térmica a un volumen constante y equivalente a 1,4 para el aire. Al funcionar en el modo compresión, p_2 es la presión de alimentación de aire, y p_1 es la presión atmosférica. Al funcionar en el modo al vacío, p_2 es la presión atmosférica y p_1 es la presión del gas residual que sale del lecho adsorbente.

10 La densidad de potencia de la batería puede determinarse a partir de las especificaciones del fabricante. Para una batería de ión litio del estado de la técnica, por ejemplo, la densidad de energía ρ_{batt} se da en kg/0,454 Wh. Para cualquier tiempo de realización determinado, t_r (en horas), el peso de la batería (en kg/0,454) puede describirse por la relación

$$15 \quad W_b = \frac{\rho_{batt} P_{ad} t_r}{\eta_p \eta_m}$$

donde η_p y η_m son las eficiencias de los compresores y el motor de accionamiento, respectivamente.

20 El peso total de los componentes de peso variable puede determinarse a partir de la relación de cada peso de los componentes individuales con respecto a las características del ciclo, específicamente la envolvente de presión operativa. Por lo tanto, el peso total de los componentes de peso variable es una función de la presión mínima durante la evacuación, p_{min} , y la presión del producto, p_{prod} .

25 El peso deseable de los componentes variables puede determinarse seleccionando en primer lugar un caudal de producto, una presión de producto y un tiempo de realización. Después, usando la función del peso total, el peso combinado de los tres componentes puede representarse gráficamente en función de una sola variable, la presión mínima del lecho, como se proporciona a continuación:

$$30 \quad W_t = \{W_a + W_p + W_b\}(p_{min})$$

El peso deseable de los componentes variables se determina seleccionando en primer lugar un caudal de producto, una presión de producto y un tiempo de realización. Después, usando la función del peso total, el peso combinado de los tres componentes puede representarse gráficamente en función de una sola variable, la presión mínima del lecho. La representación gráfica del peso de los componentes de peso variable frente a la presión mínima del lecho a una velocidad de producción constante, pureza del producto, presión de producto y tiempo de realización muestra inesperadamente que hay una presión mínima, o un intervalo de presiones mínimas deseables, que corresponde a un peso mínimo o un intervalo de pesos mínimos deseables de los componentes de peso variable.

40 Los siguientes Ejemplos ilustran esta característica pero no limitan las realizaciones de la invención a ninguno de los detalles específicos descritos en la misma. Cada uno de los Ejemplos se basa en proporcionar un producto que contiene el 93% en mol de oxígeno a diversas presiones de suministro, caudales y tiempos de realización usando (a) el sistema PVSA de cinco lechos de la figura 1 con el ciclo PVSA descrito en las Tablas 1 y 2, y (b) un sistema PVSA de cuatro lechos con el ciclo descrito en las Tablas 3 y 4. El adsorbente es una zeolita de tipo X de bajo contenido en sílice intercambiada con sodio y litio (LSX) con forma de perla con un diámetro de partícula medio de 0,50 mm. En el cálculo del peso del adsorbente requerido usando las ecuaciones de adsorción de nitrógeno que se han dado anteriormente, se usó un factor de utilización del lecho del 70% para tener en cuenta el hecho de que se utiliza el 70% de la capacidad del adsorbente para la adsorción de nitrógeno mientras que se utiliza el 30% restante de la capacidad del adsorbente para la adsorción del agua y el dióxido de carbono.

50 La eficiencia del motor de accionamiento 13 en el dispositivo de desplazamiento de gas primario 11 puede ser típicamente del 80%, y la eficiencia de los compresores 9 y 15 puede ser típicamente del 70%. El sistema se energiza mediante una batería de ión litio recargable, tal como, por ejemplo, una fabricada y vendida por Varta que tiene una densidad de energía fija de 12,46 kg/0,45/kWh (lb/kWh) por las especificaciones del fabricante. El peso total del sistema es la suma del peso de los componentes de peso fijo (alojamiento, entubado, cableado eléctrico,

55

etc.) y el peso variable del adsorbente, del dispositivo de desplazamiento de gas primario (es decir, el compresor de aire de alimentación y el compresor de gas residual al vacío) y de la batería.

EJEMPLO 1

5 Se simuló un sistema PVSA para generar 3 lpm de oxígeno al 93% en mol a una presión de producto de 1,6 atm durante un periodo de 1 hora de tiempo de realización continua para un sistema de cinco lechos de la figura 1 usando el ciclo de las Tablas 1 y 2. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada
10 componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,35 y 1,0 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 2. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la
15 presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,6 kg (3,6 lb) a 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,6 kg (3,6 lb) a 1,7 kg (3,8 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de 0,4 a 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,32 kg (0,7 lb) y un
20 valor superior de 0,64 kg (1,4 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,86 kg (1,9 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,23 kg (0,5 lb) y un valor superior de 0,54 kg (1,2 lb).

EJEMPLO 2

25 El Ejemplo 1 se repitió usando un dispositivo de desplazamiento de gas primario que consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,35 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se
30 muestra en la figura 3. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,3 kg (2,8 lb) a aproximadamente 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,3 kg (2,8 lb) a 1,4 kg (3,0 lb). Esto corresponde a un
35 intervalo de la presión mínima del lecho de 0,5 a 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,32 kg (0,7 lb) y un valor superior de 0,59 kg (1,3 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 1,1 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,27 kg (0,6 lb) y un valor superior de 0,50 kg (1,1 lb).

EJEMPLO 3

40 Se simuló un sistema PVSA para generar 2 lpm de oxígeno al 93% en mol a una presión de producto de 1,4 atm durante un periodo de 2 horas de tiempo de realización continua para un sistema de cinco lechos de la figura 1 usando el ciclo de las Tablas 1 y 2. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada
45 componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,4 y 1,0 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 4. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la
50 presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,3 kg (2,9 lb) a 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,3 kg (2,9 lb) 1,4 kg (3,1 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,6 a aproximadamente 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la
55 PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,27 kg (0,6 lb) y un valor superior de 0,59 kg (1,2 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,59 kg (1,3 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,23 kg (0,5 lb) y un valor superior de 0,50 kg (1,1 lb).

EJEMPLO 4

60 El Ejemplo 3 se repitió usando un dispositivo de desplazamiento de gas primario que consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería,
65 se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima

del lecho entre 0,40 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 5. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de (2,3 lb) a aproximadamente 0,8 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,0 kg (2,3 lb) a (2,5 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de 0,6 a aproximadamente 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,27 kg (0,6 lb) y un valor superior de 0,50 kg (1,1 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,32 kg (0,7 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,27 kg (0,6 lb) y un valor superior de 0,50 kg (1,1 lb).

EJEMPLO 5

Se simuló un sistema PVSA para generar 1 lpm de oxígeno al 93% en mol a una presión de producto de 1,2 atm durante un periodo de 3 horas de tiempo de realización continua para un sistema de cinco lechos de la figura 1 usando el ciclo de las Tablas 1 y 2. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,35 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 6. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 0,68 kg (1,5 lb) a aproximadamente 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 0,68 kg (1,5 lb) a 0,73 kg (1,6 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,6 a 0,8 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,14 kg (0,3 lb) y un valor superior de 0,27 kg (0,6 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,32 kg (0,7 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,14 kg (0,3 lb) y un valor superior de 0,27 kg (0,6 lb).

EJEMPLO 6

El Ejemplo 5 se repitió usando un dispositivo de desplazamiento de gas primario que consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,40 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 7. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 0,59 kg (1,3 lb) a aproximadamente 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 0,54 kg (1,2 lb) a 0,59 kg (1,3 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de 0,6 a aproximadamente 0,8 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,14 kg (0,3 lb) y un valor superior de 0,27 kg (0,6 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,18 kg (0,4 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,14 kg (0,3 lb) y un valor superior de 0,27 kg (0,6 lb).

EJEMPLO 7

Se simuló un sistema PVSA para generar 3 lpm de oxígeno al 93% en mol a una presión de producto de 1,6 atm durante un periodo de 3 horas de tiempo de realización continua para un sistema de cinco lechos de la figura 1 usando el ciclo de las Tablas 1 y 2. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,5 y 1,06 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 8. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 2,2 kg (4,8 lb) a aproximadamente 0,9 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 2,2 kg (4,8 a 5,0 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,8 a 1,1 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable

para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 1,0 lb y un valor superior de 1,8 lb, el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 1,9 lb, y el peso de la batería está entre un valor inferior de 1,4 lb y un valor superior de 2,1 lb.

5 EJEMPLO 8

El Ejemplo 7 se repitió usando un dispositivo de desplazamiento de gas primario que consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,37 y 1,06 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 9. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,8 kg (4,0 lb) a aproximadamente 0,9 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,8 a 1,9 kg (4,0 a 4,2 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de 0,8 a aproximadamente 1,0 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,5 kg (1,1 lb) y un valor superior de 0,7 kg (1,6 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,5 kg (1,1 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,6 kg (1,4 lb) y un valor superior de 0,89 kg (2,0 lb).

EJEMPLO 9

El Ejemplo 1 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,35 y 1,0 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 10. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,5 kg (3,2 lb) a 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,5 a 1,5 kg (3,2 a 3,4 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de 0,5 a aproximadamente 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,3 kg (0,6 lb) y un valor superior de 0,6 kg (1,3 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,7 kg (1,6 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,2 kg (0,5 lb) y un valor superior de 0,5 kg (1,2 lb).

40 EJEMPLO 10

El Ejemplo 2 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,35 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 11. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,2 kg (2,7 lb) a 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,2 kg (2,7 a 2,9 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,5 a 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,3 kg (0,7 lb) y un valor superior de 0,6 kg (1,3 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,5 kg (1,1 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,2 kg (0,5 lb) y un valor superior de 0,5 kg (1,0 lb).

60 EJEMPLO 11

El Ejemplo 3 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre

0,4 y 1,0 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 12. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,2 kg (2,6 lb) a 0,8 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,2 a 1,3 kg (2,6 a 2,8 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de 0,6 a aproximadamente 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,3 kg (0,6 lb) y un valor superior de 0,5 kg (1,1 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,5 kg (1,1 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,2 kg (0,5 lb) y un valor superior de 0,5 kg (1,1 lb).

EJEMPLO 12

El Ejemplo 4 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,4 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 13. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,0 kg (2,3 lb) a aproximadamente 0,8 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,0 a 1,1 kg (2,3 a 2,4 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,6 a aproximadamente 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,3 kg (0,6 lb) y un valor superior de 0,5 kg (1,1 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,3 kg (0,7 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,2 kg (0,5 lb) y un valor superior de 0,5 kg (1,0 lb).

EJEMPLO 13

El Ejemplo 5 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,35 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 14. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 0,6 kg (1,4 lb) a aproximadamente 0,7 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 0,6 a 0,7 kg (1,4 a 1,5 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de 0,6 a 0,9 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,1 kg (0,3 lb) y un valor superior de 0,3 kg (0,6 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,3 kg (0,6 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,1 kg (0,3 lb) y un valor superior de 0,2 kg (0,5 lb).

EJEMPLO 14

El Ejemplo 6 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,4 y 0,96 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 15. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 0,5 kg (1,2 lb) en un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,6 a 0,8 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,1 kg (0,3 lb), y un valor superior de 0,3 kg (0,6 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,2 kg (0,4 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,1 kg (0,3 lb) y un valor superior de 0,2 kg (0,5 lb).

EJEMPLO 15

El Ejemplo 7 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo espiral y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre 0,5 y 1,06 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 16. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 2,0 kg (4,4 lb) a ligeramente por debajo de 1,0 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 2,0 kg (4,4 a 4,6 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,8 a 1,1 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,5 kg (1,0 lb) y un valor superior de 0,7 kg (1,6 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,7 kg (1,6 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,6 kg (1,4 lb) y un valor superior de 0,9 ka (2,0 lb).

EJEMPLO 16

El Ejemplo 8 se repitió, excepto que el sistema PVSA era un sistema de cuatro lechos que funcionaba de acuerdo con el ciclo de las Tablas 3 y 4. El dispositivo de desplazamiento de gas primario consistía en aire de alimentación de tipo diafragma y compresores de gas residual accionados por un motor común. El peso de cada componente de peso variable, es decir, el adsorbente, el dispositivo de desplazamiento de gas primario y la batería, se calcularon usando los procedimientos que se han descrito anteriormente para los valores de la presión mínima del lecho entre aproximadamente 0,37 y 1,06 atma. Estos pesos se sumaron y todos los datos se representaron gráficamente como se muestra en la figura 17. Los tres pesos de los componentes individuales no muestran mínimos obvios en función de la presión mínima del lecho. Sin embargo, cuando estos pesos se combinan, el gráfico del peso variable total frente a la presión mínima del lecho muestra un peso variable total mínimo de 1,8 kg (3,9 lb) a ligeramente menor de 1,0 atma. Se definió un intervalo de peso relativo deseable entre el peso mínimo y el 5% por encima del peso mínimo para producir un intervalo de peso variable total deseable de 1,8 a 1,9 kg (3,9 a 4,1 lb). Esto corresponde a un intervalo de la presión mínima del lecho de aproximadamente 0,8 a 1,0 atma, que es un intervalo operativo de la PVSA deseable para este Ejemplo. En este intervalo de presión deseable, el peso del adsorbente está entre un valor inferior de 0,5 kg (1,0 lb) y un valor superior de 0,7 kg (1,5 lb), el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario es de 0,5 kg (1,1 lb), y el peso de la batería está entre un valor inferior de 0,6 kg (1,4 lb) y un valor superior de 0,9 kg (2,0 lb).

EJEMPLO 17

El sistema PVSA de la figura 1 se simuló usando el ciclo descrito en las Tablas 1 y 2 para caudales de producto de 1 a 3 lpm, presiones de suministro del producto entre 1,2 y 1,6 atma, y tiempos de realización entre 1 y 3 horas. El sistema PVSA de la figura 1 también se simuló usando el ciclo descrito en las Tablas 3 y 4 para los mismos caudales de producto, presiones de suministro del producto y tiempos de realización. Para estas simulaciones, la batería recargable proporciona entre 0,02 y 0,17 KWh de potencia durante el tiempo de realización operativo entre una carga de trabajo máxima y mínima. La capacidad de trabajo total del adsorbente en cada lecho adsorbente durante los ciclos está entre 0,054 y 0,304 moles ($1,2 \times 10^{-4}$ y $6,7 \times 10^{-4}$ lbmoles) de nitrógeno. El compresor de aire de alimentación (el primer compresor) se mueve entre 0,052 y 0,182 moles ($1,14 \times 10^{-4}$ y $4,01 \times 10^{-4}$ lbmoles) de aire de alimentación presurizado durante las etapas de alimentación, y el compresor de gas residual (el segundo compresor) se mueve entre 0,157 y 0,452 moles ($3,47 \times 1,0^{-4}$ y $9,96 \times 10^{-4}$ lbmoles) de gas residual durante las etapas de despresurización y evacuación.

Se proporciona un resumen de los resultados de los Ejemplos 1-16 en la Tabla 5. Estos resultados se utilizaron para definir intervalos operativos deseables para el peso del adsorbente, del dispositivo de desplazamiento de gas primario y de la batería en función del caudal de producto. Esto se realizó representando gráficamente los valores de los pesos superiores e inferiores correspondientes a los valores superiores e inferiores de los intervalos de presión mínima del lecho para cada uno de los componentes de peso variable definidos en los Ejemplos 1-16 en función de los caudales del producto. Después, se construyeron límites lineales para definir una región operativa deseable en cuanto al peso frente al caudal de producto para cada componente de manera que todos los valores superiores e inferiores de los pesos mínimos se incluyeran en esta región operativa óptima. Además, los intervalos del peso mínimo de la batería se normalizaron con respecto a un tiempo de realización de la unidad y se representaron gráficamente en función del caudal de producto para determinar una región operativa óptima en cuanto a esta variable normalizada. En base a estos Ejemplos, la presión mínima del lecho típicamente está entre 0,25 y 1,0 atma, y puede estar en el intervalo de 0,45 y 0,8 atma.

Ejemplo N°	Flujo de producto, lpm	Presión del producto, atma	Tiempo de realización, h	N° de lechos	Tipo de dispositivo de desplazamiento de gas primario	Presión mínima del lecho, atma		Peso variable total, kg/0,454	
						Mínimo	Intervalo	Mínimo	Intervalo
1	3	1,6	1	5	Espiral	0,7	0,4-0,9	3,6	3,6-3,8
2	3	1,6	1	5	Diafragma	0,7	0,5-0,9	2,8	2,8-3,0
3	2	1,4	2	5	Espiral	0,7	0,6-0,9	2,9	2,9-3,1
4	2	1,4	2	5	Diafragma	0,8	0,6-0,9	2,3	2,3-2,5
5	1	1,2	3	5	Espiral	0,7	0,6-0,8	1,5	1,5-1,6
6	1	1,2	3	5	Diafragma	0,7	0,6-0,8	1,2	1,2-1,3
7	3	1,6	3	5	Espiral	0,9	0,8-1,1	4,8	4,8-5,0
8	3	1,6	3	5	Diafragma	0,9	0,8-1,0	4,0	4,0-4,2
9	3	1,6	1	4	Espiral	0,7	0,5-0,9	3,2	3,2-3,4
10	3	1,6	1	4	Diafragma	0,7	0,5-0,9	2,7	2,7-2,9
11	2	1,2	2	4	Espiral	0,8	0,6-0,9	2,6	2,6-2,8
12	2	1,2	2	4	Diafragma	0,8	0,6-0,9	2,3	2,3-2,4
13	1	1,2	3	4	Espiral	0,7	0,6-0,9	1,4	1,4-1,5
14	1	1,2	3	4	Diafragma	0,7	0,6-0,8	1,2	--
15	3	1,6	3	4	Espiral	~1,0	0,8-1,1	4,4	4,4-4,6
16	3	1,6	3	4	Diafragma	~1,0	0,8-1,0	3,9	3,9-4,1

- Los gráficos resultantes y las regiones operativas deseables para los componentes de peso variable individuales se muestran en las figuras 18, 19, 20 y 21. La figura 18 ilustra una región operativa deseable delimitada por (a) una línea inferior extraída del origen y el peso inferior del intervalo de peso del adsorbente para el caudal de producto de 3 lpm y (b) una línea superior extraída del origen y el peso superior del intervalo de peso del adsorbente para el caudal de producto de 1 lpm. Por lo tanto, todos los pesos superiores e inferiores del adsorbente para los caudales de producto de 1, 2 y 3 lpm están dentro de la región operativa deseable descrita por las líneas superior e inferior de la figura 18.
- La figura 19 indica que el intervalo deseable de los pesos de los dispositivos de desplazamiento de gas primario están entre e incluyen los pesos de los compresores de aire de alimentación de tipo espiral y de tipo diafragma y de gas residual que definen las líneas superior e inferior, respectivamente.
- La figura 20 ilustra una región operativa deseable delimitada por las líneas superior e inferior extraídas del origen y los pesos de la batería superior e inferior de los Ejemplos a caudales de producto de 3 lpm. Por lo tanto, todos los pesos superiores e inferiores de la batería de peso variable para caudales de producto de 1, 2 y 3 lpm están dentro de la región operativa deseable descrita por las líneas superior e inferior.
- La figura 21 ilustra una región operativa deseable delimitada por (a) una línea inferior extraída del origen y el valor inferior del intervalo del peso de la batería de tiempo normalizado que corresponde a los Ejemplos a un caudal de producto de 1 lpm y (b) una línea superior extraída del origen y el valor superior del intervalo de peso de la batería de tiempo normalizado que corresponde a los ejemplos a un caudal de producto de 3 lpm. Por lo tanto, todos los valores superiores e inferiores del peso de la batería de tiempo normalizado para caudales de producto de 1, 2 y 3 lpm entran dentro de la región operativa deseable descrita por las líneas superior e inferior de la figura 21.
- Los procedimientos de optimización que se han descrito anteriormente incluyen, por lo tanto, la operación de un sistema PVSA de cuatro y de cinco lechos para velocidades de producción de 1 a 3 lpm de oxígeno al 93% en mol en un intervalo de presión de producto de 1,2 a 1,6 atma durante periodos de 1 a 3 horas de tiempo de realización continua. Los intervalos de peso óptimos correspondientes para los componentes individuales se definieron analíticamente para los intervalos operativos deseables de la presión mínima del lecho. Además, se definieron analíticamente regiones operativas deseables en cuanto al peso frente a caudales de producto para los componentes de peso variable individuales. Además, las regiones operativas deseables se definieron analíticamente en cuanto al peso frente a caudales de producto para los pesos totales del peso variable combinado. Estos se resumen a continuación.
- Las regiones operativas deseables que se han descrito anteriormente y se ilustran en las figuras 18, 19, 20 y 21 pueden expresarse como se indica a continuación para los componentes de peso variable individuales:

ES 2 422 895 T3

(a) para el peso del adsorbente, W_a ,

$$0,21 F_p < W_a / 0,454 < 0,61 F_p;$$

5 (b) para el peso del dispositivo de desplazamiento de gas primario, W_p ,

$$0,36 F_p < W_p / 0,454 < 0,70 F_p;$$

10 (c) para el peso de la batería, W_b ,

$$0,18 F_p < W_b / 0,454 < 0,71 F_p;$$

y

15 (d) para el peso de la batería en una base normalizada de tiempo,

$$0,10 F_p t_r < W_b < 0,40 F_p t_r.$$

20 En estas expresiones, F_p es el caudal de producto en litros por minuto (a 23 °C y 1 atma), el peso está en kg, y el tiempo t_r está en horas. Las características operativas deseadas de los sistemas PVSA que se han descrito anteriormente pueden caracterizarse por cualquiera de las anteriores expresiones.

Combinando las expresiones en (a), (b) y (c) anteriores, el peso variable total, W_t , puede expresarse como

25
$$0,75 F_p < W_t / 0,454 < 2,02 F_p$$

30 donde W_t está en kg. El peso combinado de los componentes de peso variable de un sistema PVSA designado para generar 1 lpm de oxígeno al 93% en mol puede estar, por lo tanto, entre 0,34 y 0,92 kg (0,75 y 2,02 libras), y un sistema designado para generar 3 lpm de oxígeno al 93% en mol puede estar, por lo tanto, entre 1,0 y 2,75 kg (2,25 y 6,06 libras). Esta expresión puede extenderse a caudales de producto por encima de 3 lpm y por debajo de 1 lpm para determinar el peso variable total de los componentes del sistema PVSA. Por ejemplo, la expresión puede usarse para determinar el peso variable total entre 0,5 y 5 lpm, y este peso puede variar entre 0,17 kg y 0,46 kg (0,375 lb y 1,01 lb) para un sistema de 0,5 lpm y entre 1,7 kg y 4,6 kg (3,75 lb y 10,1 lb) para un sistema de 5 lpm.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema concentrador de oxígeno portátil para producir un gas rico en oxígeno, que comprende

(a) un dispositivo de desplazamiento de gas primario que incluye un primer compresor adaptado para comprimir el aire atmosférico con el fin de proporcionar aire de alimentación a presión y un segundo compresor adaptado para comprimir un gas residual de presión subatmosférica a presión atmosférica, en el que el dispositivo de desplazamiento de gas primario está **caracterizado por** un peso W_p ;

(b) un motor de accionamiento adaptado para accionar el primer y segundo compresores;

(c) una fuente de energía recargable adaptada para suministrar energía al motor de accionamiento, en la que la fuente de energía recargable está **caracterizada por** un peso W_b ; y

(d) una unidad de adsorción de oscilación de presión al vacío adaptada para separar el aire de alimentación presurizado en un producto rico en oxígeno a un caudal de producto F_p y un gas residual privado de oxígeno, en la que la unidad de adsorción comprende una pluralidad de lechos adsorbentes que contienen un adsorbente, en el que la cantidad total del adsorbente contenido en los lechos adsorbentes está caracterizada por un peso de adsorbente total W_a ;

en el que el peso combinado, W_t , del adsorbente, del dispositivo de desplazamiento de gas primario, y de la fuente de energía recargable está caracterizado por la expresión

$$0,75 F_p < W_t / 0,454 < 2,02 F_p$$

donde F_p está en litros por minutos (a 23 °C y 1 atma de presión) y W_a , W_p y W_b están en kg

en la que la fuente de energía recargable está caracterizada por tiempo de realización operativo en horas, t_r , entre una carga de trabajo máxima y mínima, y en la que el sistema está caracterizado adicionalmente por cada una de las expresiones

$$0,21 F_p < W_a / 0,454 < 0,61 F_p,$$

$$0,36 F_p < W_p / 0,454 < 0,70 F_p,$$

$$0,18 F_p < W_b / 0,454 < 0,71 F_p,$$

y

$$0,10 F_p t_r < W_b / 0,454 < 0,40 F_p t_r.$$

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de lechos adsorbentes comprende cuatro o más lechos.

3. El sistema de la reivindicación 2, en el que la pluralidad de lechos adsorbentes consiste en cuatro lechos.

4. El sistema de la reivindicación 1, en el que cada uno del primer y segundo compresores se seleccionan entre el grupo que consiste en compresores en espiral, de diafragma, de pistón y rotativos de paletas.

5. El sistema de la reivindicación 4, en el que el primer y segundo compresores son compresores del tipo espiral.

6. El sistema de la reivindicación 1, que tiene un peso total de menos de 5,44 kg (12 libras).

7. El sistema de la reivindicación 6, que tiene un peso total de menos de 4,54 kg (10 libras).

8. El sistema de la reivindicación 7, que tiene un peso total de menos de 3,63 kg (8 libras).

9. El sistema de la reivindicación 1, en el que el adsorbente se selecciona entre el grupo que consiste en zeolita X intercambiada con uno o más cationes metálicos seleccionados entre el grupo que consiste en litio, calcio, cinc, cobre, sodio, potasio y plata.

10. El sistema de la reivindicación 9, en el que los lechos adsorbentes comprenden adicionalmente un adsorbente adicional selectivo para la adsorción de agua y dióxido de carbono del aire, y donde el adsorbente adicional se selecciona entre el grupo que consiste en (1) alúmina activada y (2) zeolita X intercambiada con uno o más cationes metálicos seleccionados entre el grupo que consiste en litio, sodio y potasio.

ES 2 422 895 T3

11. El sistema de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un conservante.
12. El sistema de la reivindicación 1, en el que la fuente de energía recargable es una batería.
- 5 13. El sistema de la reivindicación 1, en el que la fuente de energía recargable es una pila de combustible.
14. El sistema de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una carcasa externa que rodea el dispositivo de desplazamiento de gas primario, un motor de accionamiento, una fuente de energía recargable, y un sistema de adsorción de oscilación de presión al vacío, y una pantalla/panel de control de usuario montado en el
10 lado exterior de la carcasa.
15. El sistema de la reivindicación 14, que tiene un peso total de menos de 5,44 kg (12 libras).
16. El sistema de la reivindicación 15, que tiene un peso total de menos de 4,54 kg (10 libras).
- 15 17. El sistema de la reivindicación 16, que tiene un peso total de menos de 3,63 kg (8 libras).

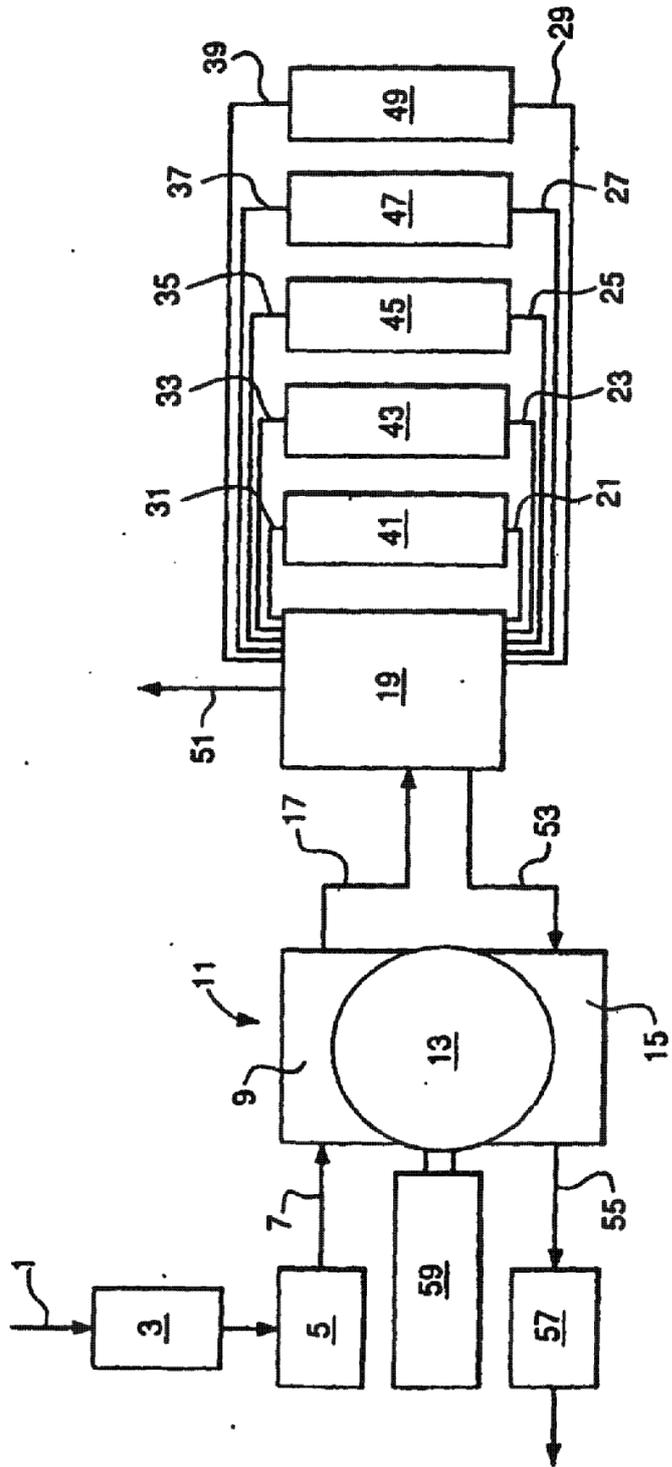


FIG. 1

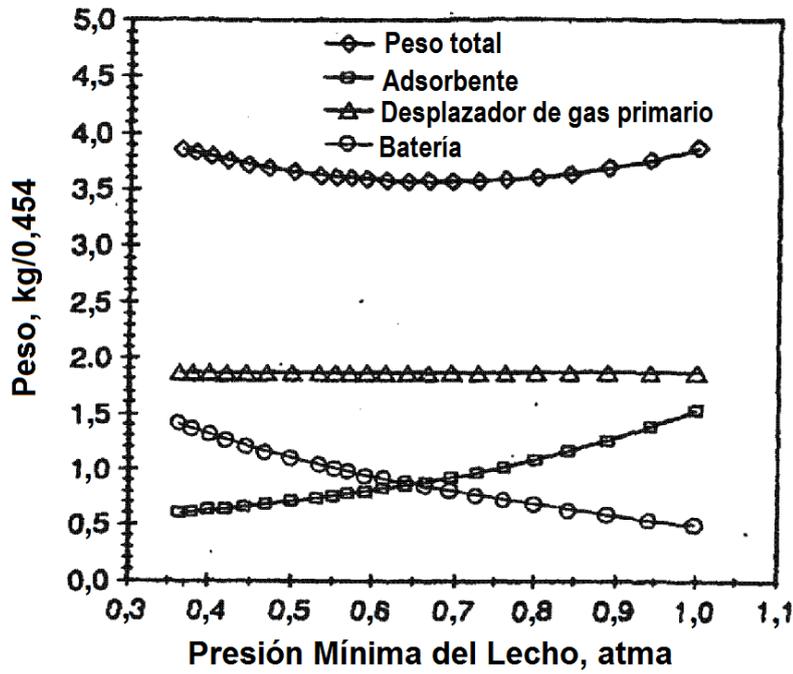


FIG. 2

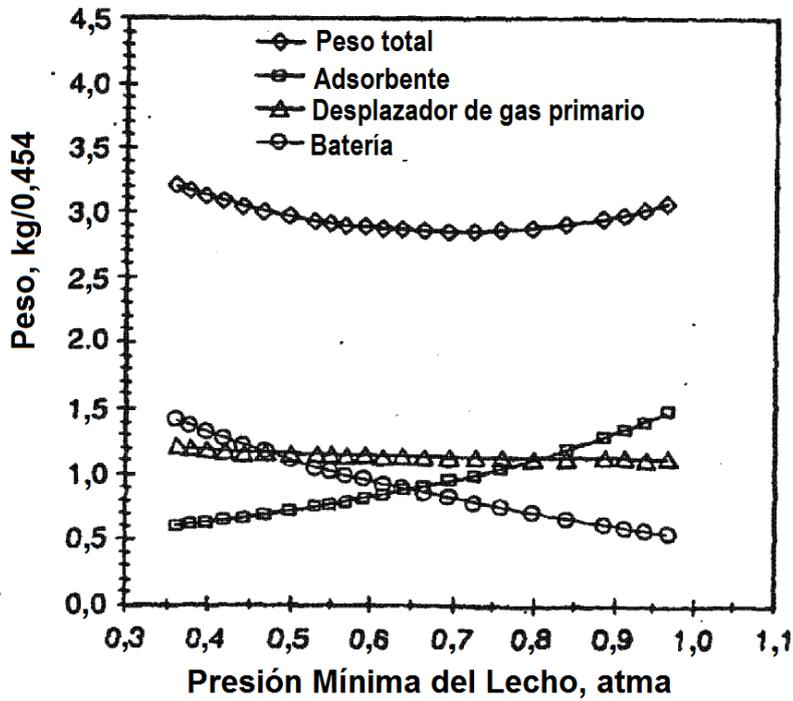


FIG. 3

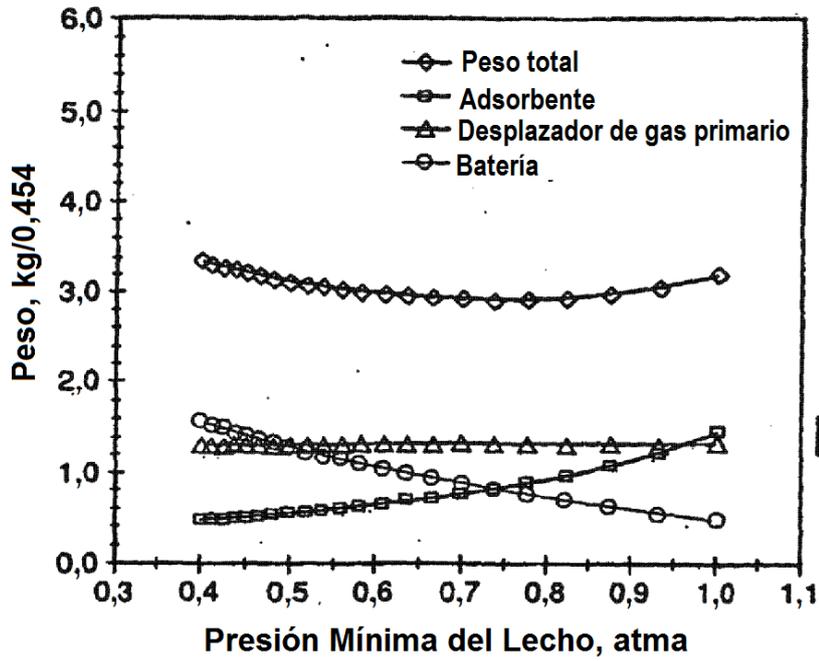


FIG. 4

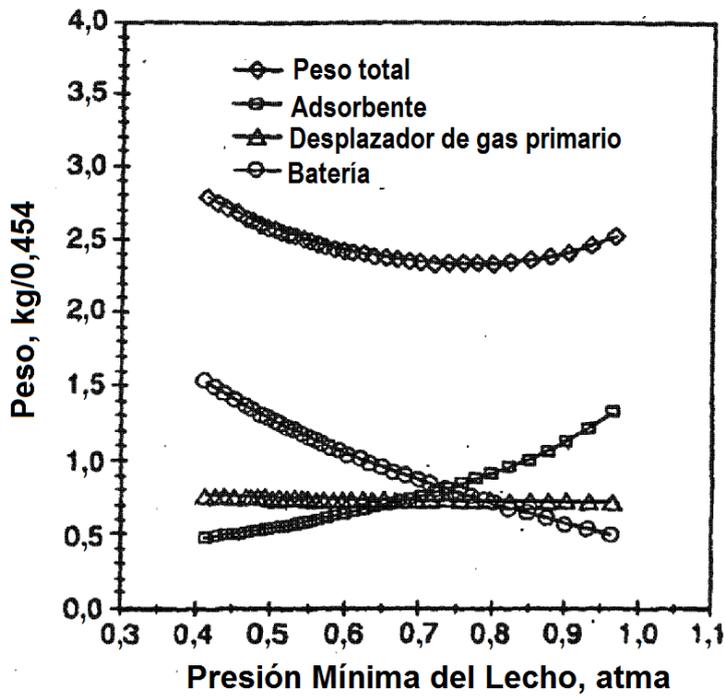


FIG. 5

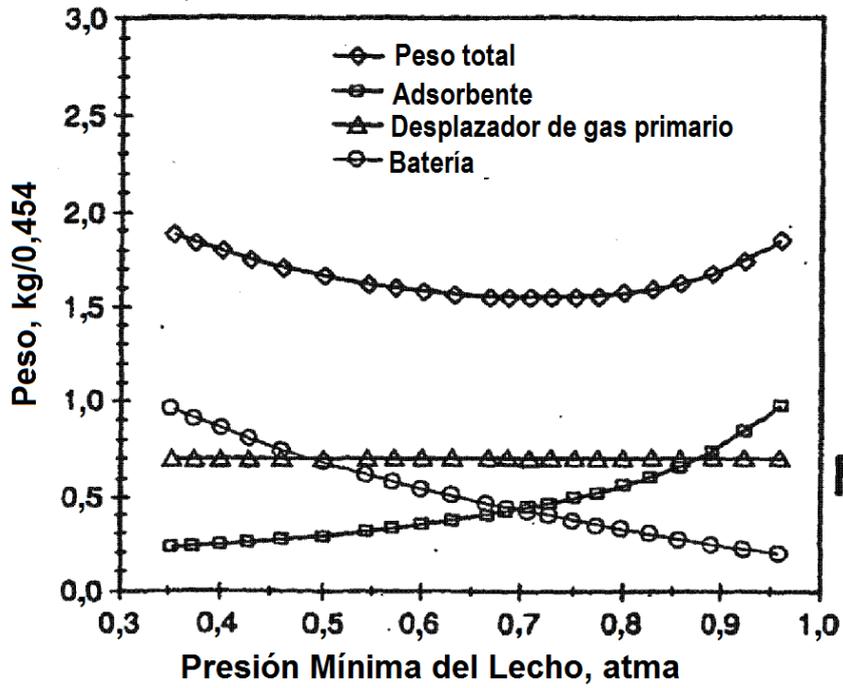


FIG. 6

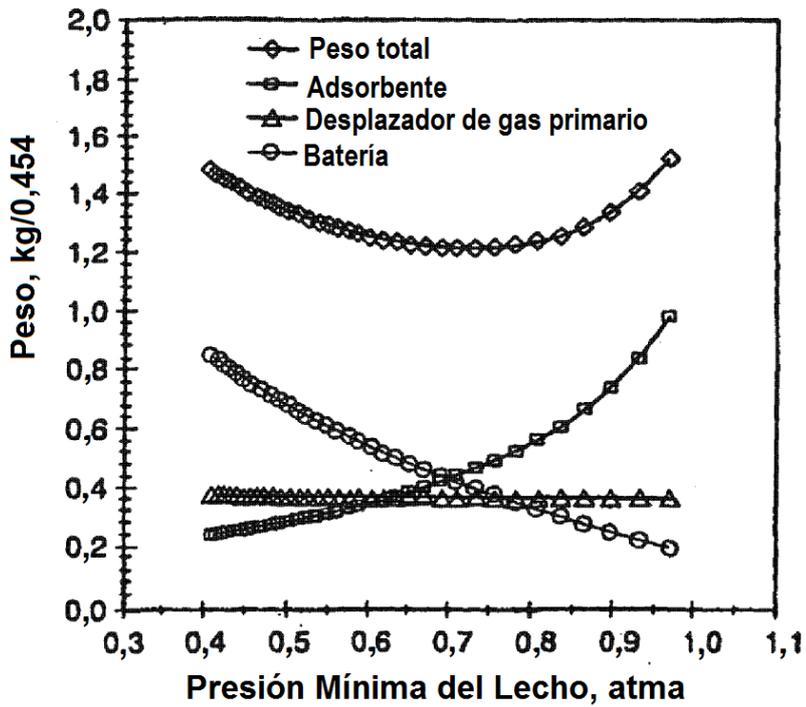


FIG. 7

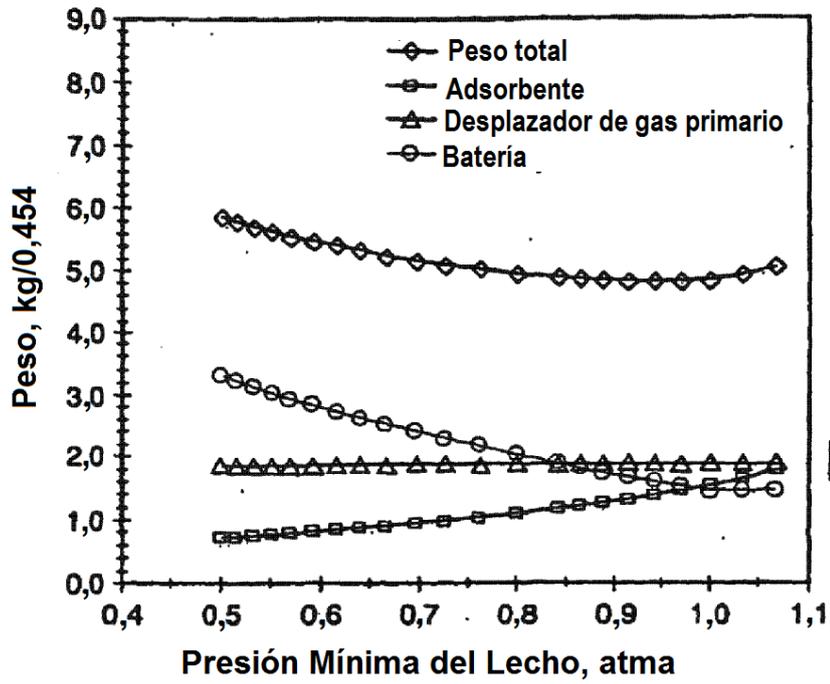


FIG. 8

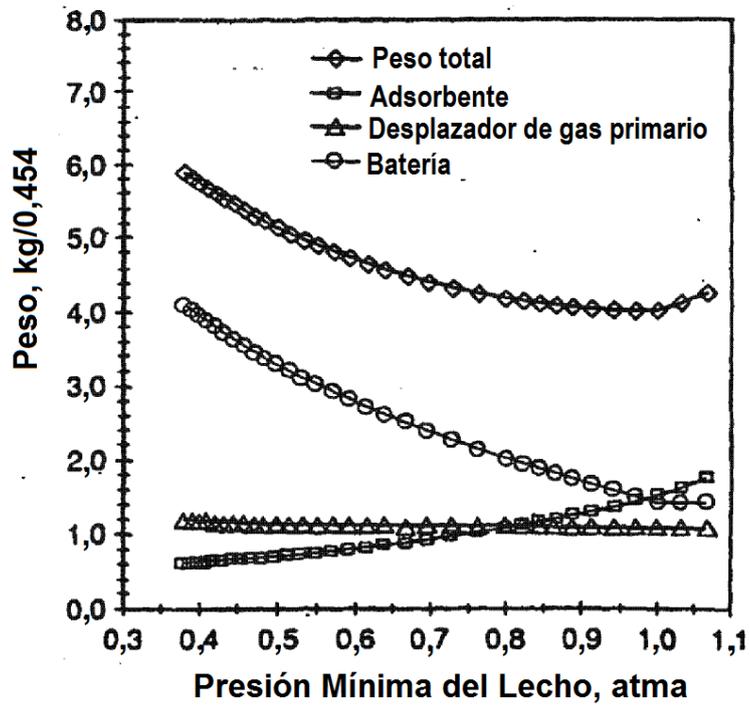


FIG. 9

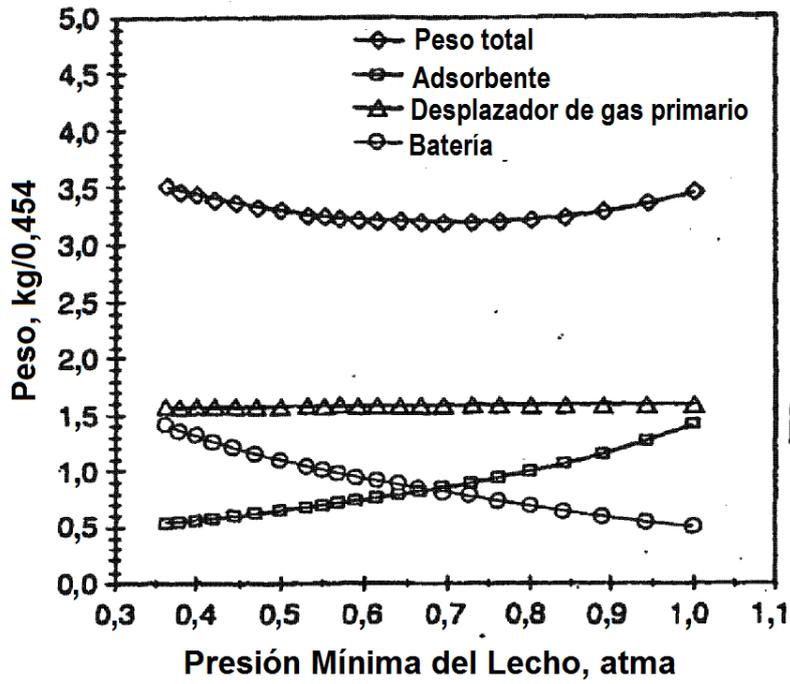


FIG. 10

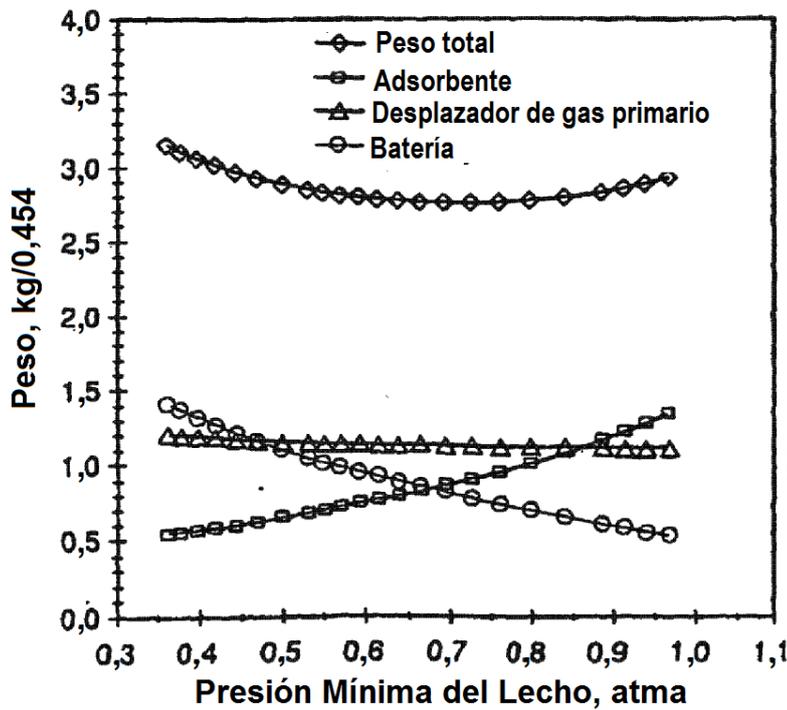
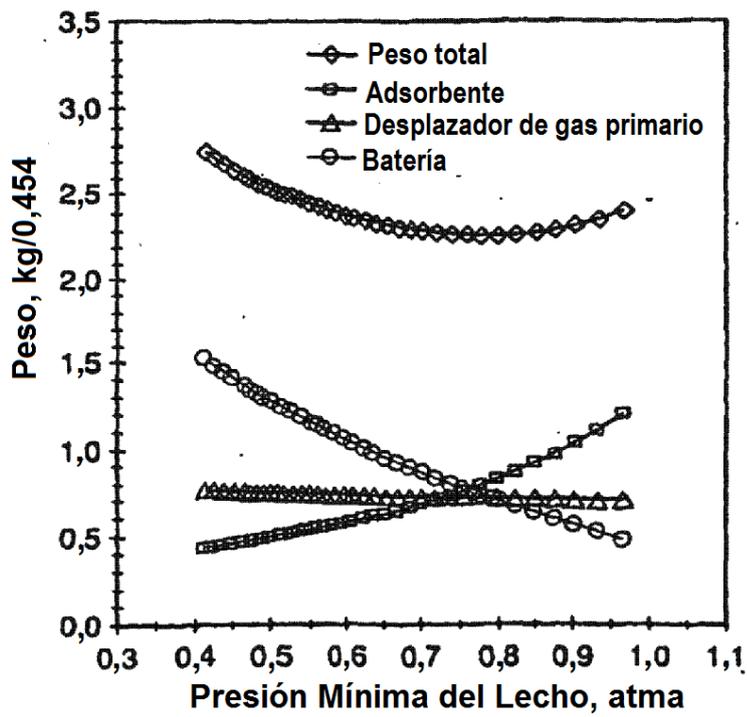
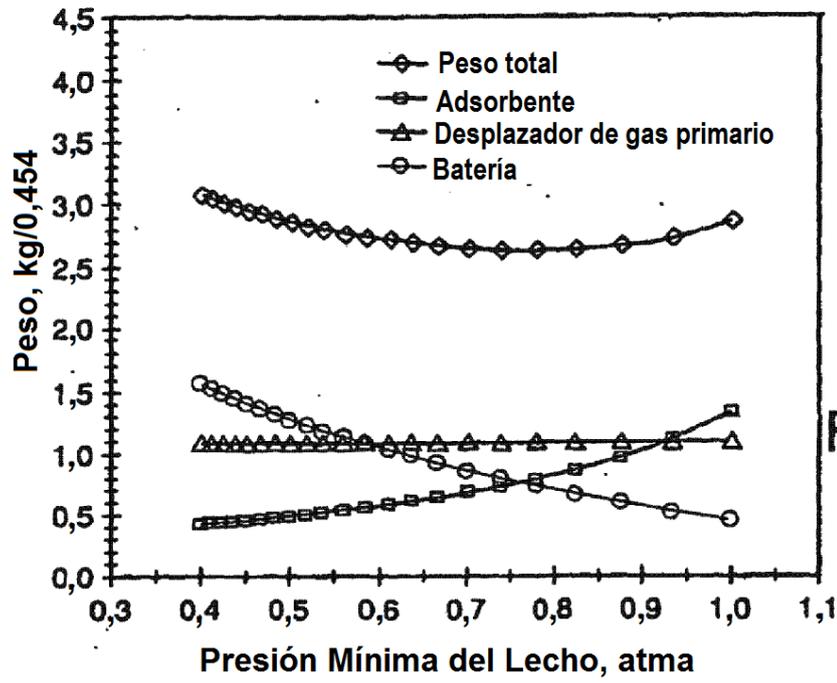


FIG. 11



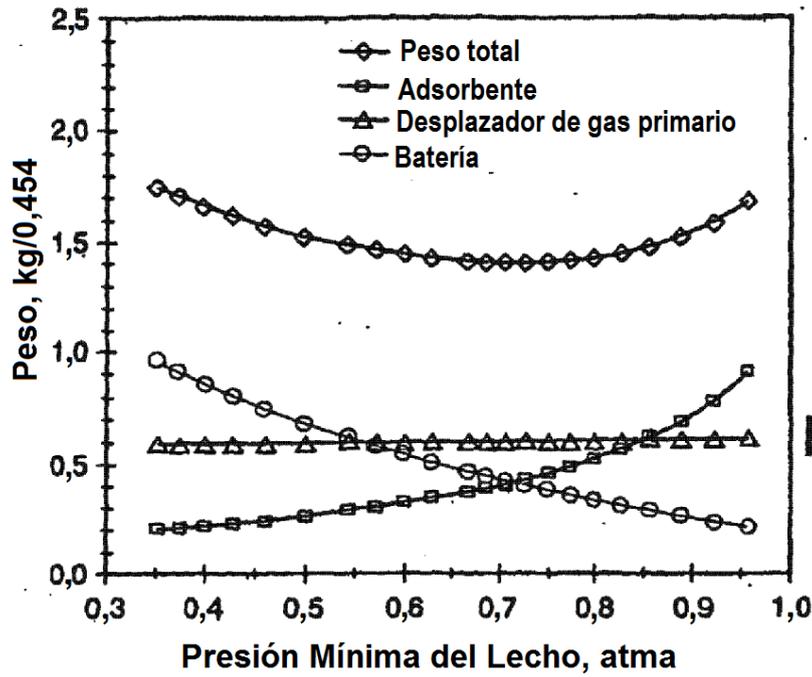


FIG. 14

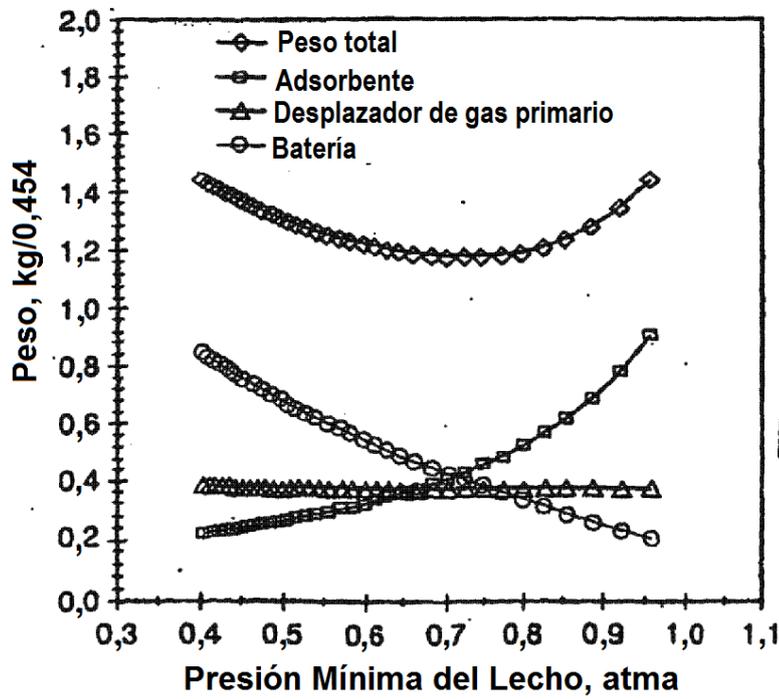


FIG. 15

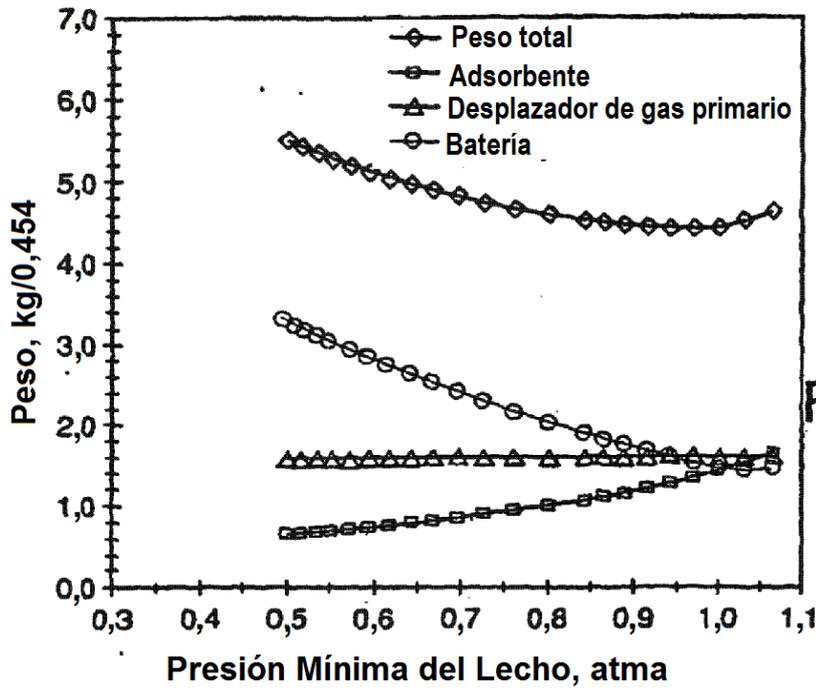


FIG. 16

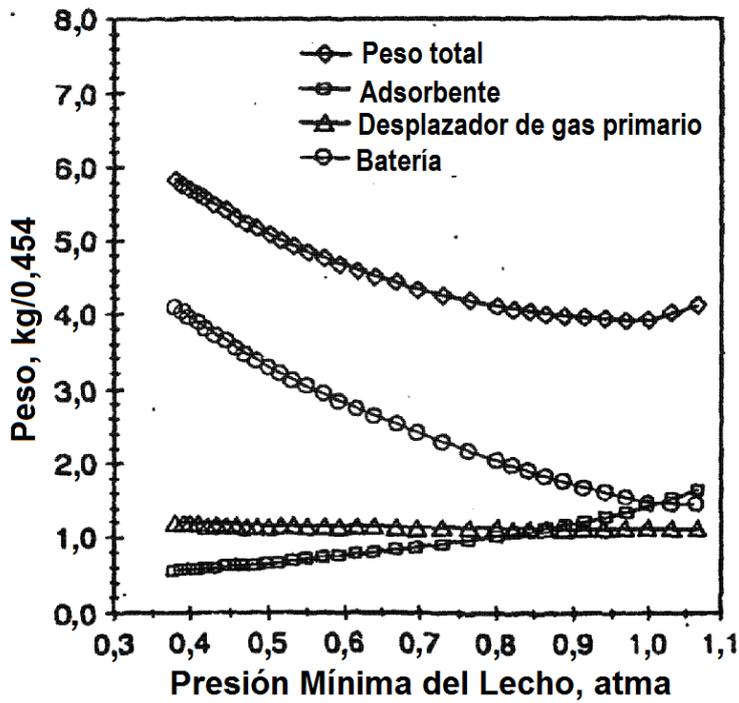


FIG. 17

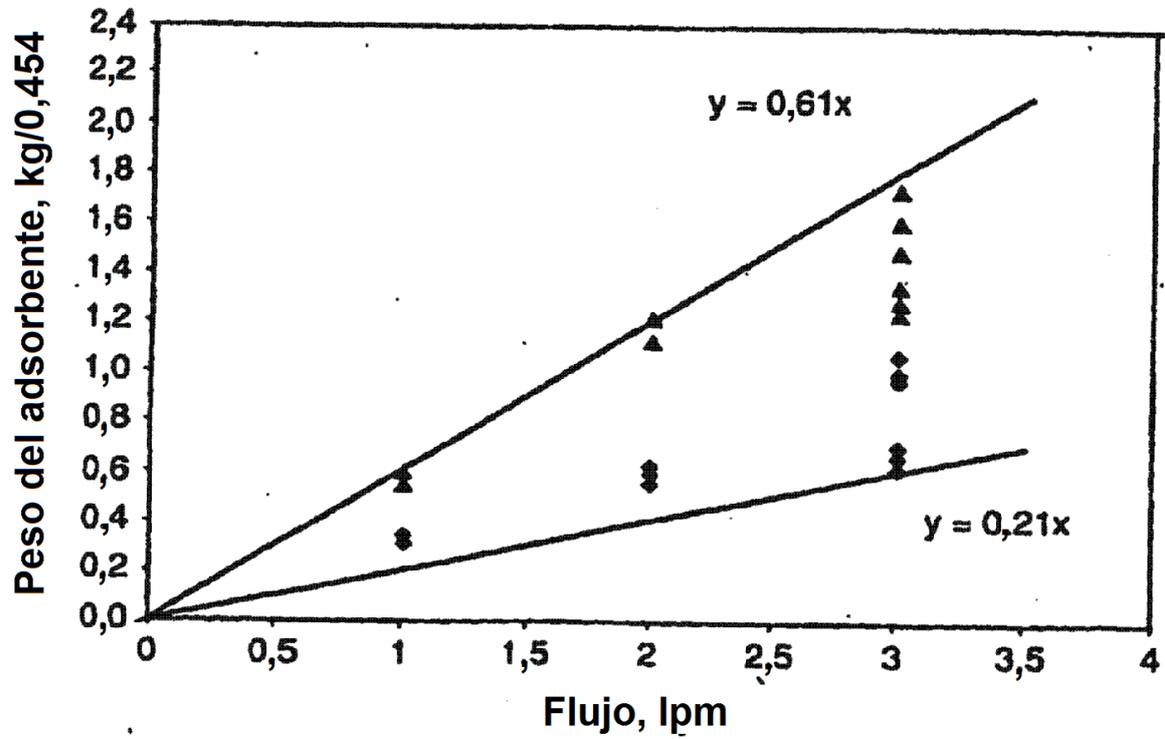


FIG. 18

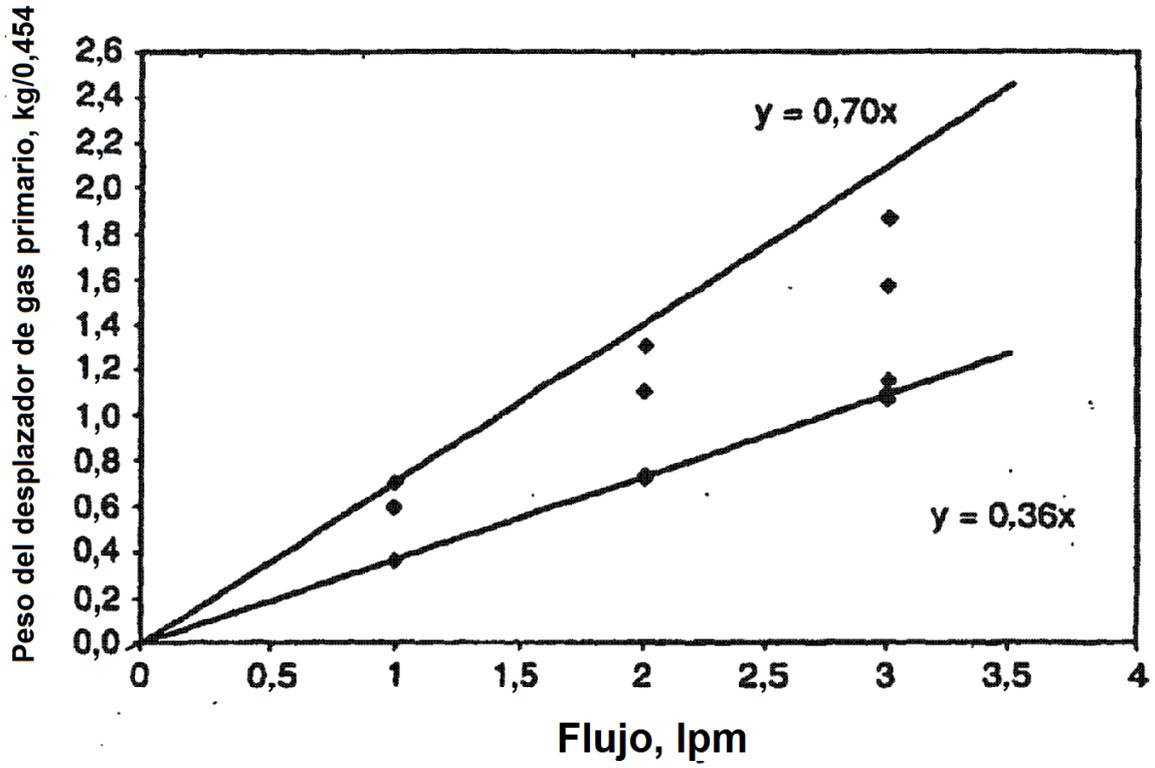


FIG. 19

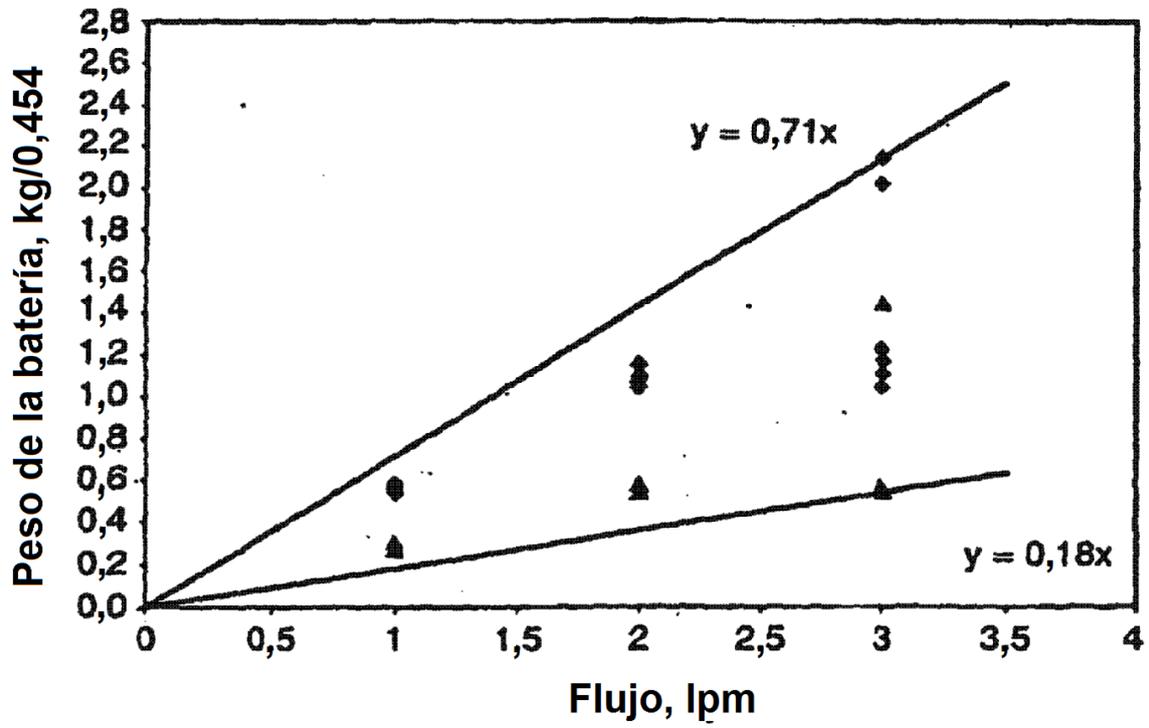


FIG. 20

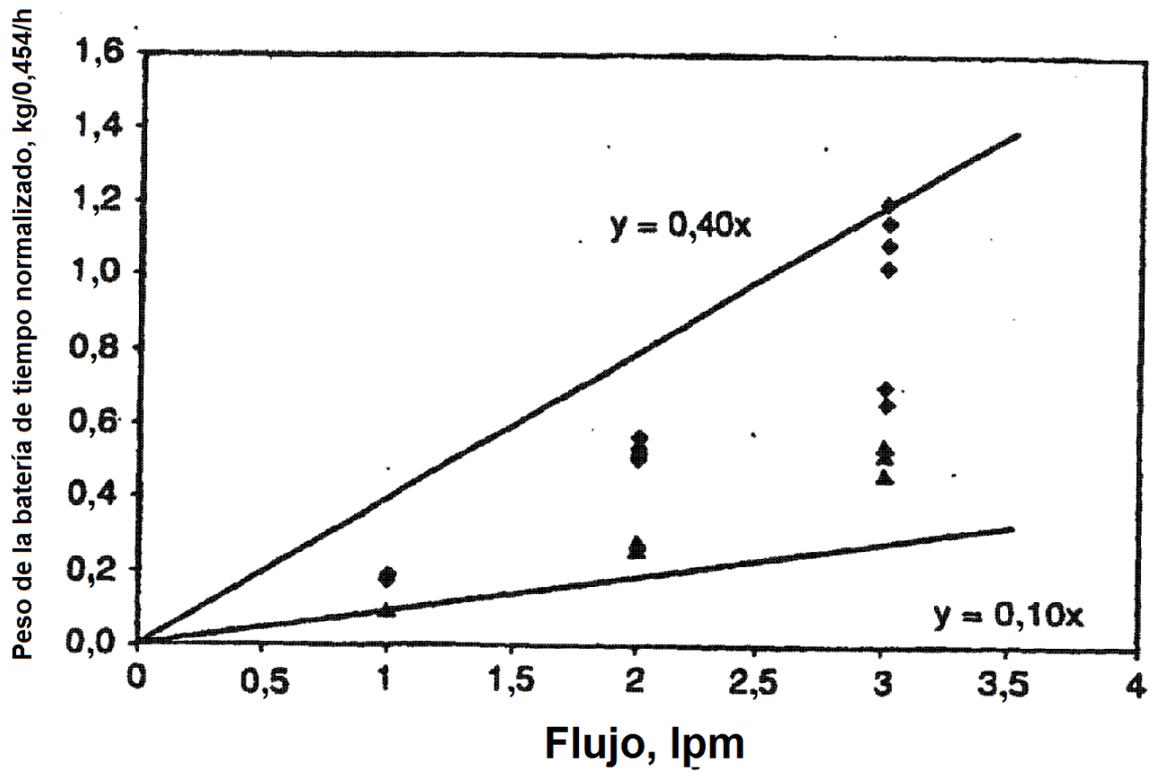


FIG. 21