

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 675 746**

51 Int. Cl.:

**F01N 1/02** (2006.01)

**F01N 1/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2007 PCT/US2007/007757**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.11.2007 WO07126945**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2007 E 07754300 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 2002092**

54 Título: **Silenciador para sistemas de separación de gases basada en adsorción**

30 Prioridad:

**03.04.2006 US 395140**

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

**12.07.2018**

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)  
39 OLD RIDGEBURY ROAD  
DANBURY, CT 06810-5113, US**

72 Inventor/es:

**CELIK, CEM, E.;  
SMOLAREK, JAMES y  
BARSOTTELLI, MICHAEL, VICTOR**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 675 746 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

Silenciador para sistemas de separación de gases basada en adsorción

### 5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere, en general, a la atenuación del ruido de un soplador usando un silenciador en un sistema de separación de gases basada en adsorción. La presente invención se refiere, más particularmente, a un silenciador de bajo coste, fiable y eficiente conectado a la descarga de un soplador de vacío o a la entrada de un soplador de alimentación de una planta de separación de gases basada en adsorción. El silenciador puede reducir los niveles de ruido a aproximadamente el nivel de 90 dBA o menos en la abertura del silenciador a la atmósfera.

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Las plantas de separación de gases basada en adsorción (por ejemplo, sistemas de adsorción por oscilación de presión (PSA) o sistemas de adsorción por oscilación de presión al vacío (VPSA)) funcionan a diversas capacidades. Ha habido y continúa habiendo una mayor demanda de dichas plantas para tener un mayor rendimiento del producto. Una forma de conseguir este objetivo es aumentar el tamaño de la planta, ya que las tendencias actuales para estas plantas de gran tonelaje se vuelven comercialmente más rentables.

20 Las plantas de VPSA de gran tonelaje requieren un tamaño y/o una velocidad del soplador aumentados. El aumento del tamaño del soplador, sin embargo, también aumenta el ruido irradiado y los niveles de pulsaciones en la planta. Dichas pulsaciones pueden causar vibraciones de tuberías que pueden, en última instancia, dañar las tuberías, los lechos u otro equipo, tal como un posenfriador en la planta.

25 Además, el ruido generado por estas pulsaciones podría ser peligroso para la seguridad y la salud del personal de la planta y el medio ambiente. Por ejemplo, el nivel de presión acústica en la salida de un soplador de vacío de gran tamaño típico puede alcanzar niveles de hasta aproximadamente 170-180 dB. Por cuestiones de seguridad, medioambientales y/o de normativa, sin embargo, es necesario reducir el nivel de presión acústica a aproximadamente 90 dBA.

30 Para reducir la pulsación, y, por lo tanto, el ruido disipado por el gas descargado, las plantas de VPSA típicamente emplean un silenciador en la descarga del soplador de vacío. El actual silenciamiento de ruido en plantas de VPSA estándar es proporcionada mediante silenciadores de tipo carcasa de acero cilíndricos disponibles en el mercado. A medida que estos silenciadores se vuelven más grandes tanto en longitud como en diámetro para proporcionar la atenuación acústica necesaria para plantas más grandes, se vuelven más propensos a vibrar, actuar como una fuente de ruido y pueden fallar mecánicamente. El coste para fabricar y mantener dichos silenciadores, por lo tanto, aumenta. Debido a la economía, la fiabilidad y la eficacia, los silenciadores de carcasa de acero no se agrandan con éxito para plantas de gran tonelaje. Esto requiere un método alternativo de silenciamiento del ruido de un soplador en dichas plantas.

35 Las patentes de Estados Unidos No. 6.089.348 de Bokory4.162.904 de Clay *et al.*, exhiben la práctica típica de la industria para silenciar el ruido de un soplador. En ambas patentes, se sugiere que el ruido del soplador se puede reducir o disipar mediante un silenciador cilíndrico de tipo carcasa de acero que incluye cámaras múltiples. Estos tipos de silenciadores se vuelven ineficaces para los sopladores grandes que generan altos niveles de pulsaciones a medida que su carcasa vibra debido a las pulsaciones del soplador. Además, el coste de fabricación y mantenimiento de dichos silenciadores se ve negativamente afectado por el aumento del tamaño del soplador. En consecuencia, estos silenciadores no son agrandados económicamente para plantas grandes.

50 La patente de Estados Unidos No. 5.957.664 de Stolz *et al.*, sugiere el uso de un amortiguador de pulsaciones del tipo resonador de Helmholtz en el conducto de descarga del soplador justo antes del silenciador, de modo que la pulsación que entra en el silenciador pueda amortiguarse y, por lo tanto, se puede mejorar el rendimiento del silenciador. Dicho enfoque es limitado, sin embargo, dado que el diseño de dichos resonadores solo es efectivo a una frecuencia dada para una condición de diseño específica. En muchos casos, los sopladores generan pulsos no solo en una única frecuencia, sino también en sus armónicos.

La patente de Estados Unidos No. 6.451.097 de Andreani *et al.*, presenta un enfoque alternativo para la atenuación del ruido del soplador divulgando una estructura parcialmente enterrada. Esta estructura tiene tubos de impedancia y deflectores para proporcionar atenuación de ruido.

60 Los documentos GB 2 104 148 AyDE 37 29 219 A1 se refieren a silenciadores para motores de combustión, que

comprenden una cámara de reacción separada de otra cámara por una pared divisoria que incluye una pluralidad de aberturas en su interior y una cámara de adsorción que está limitada por paredes y que tiene una pared divisoria, con una trayectoria serpenteante estando formada a través de la cámara de adsorción. El documento US 5.670.757 se refiere a un silenciador para uso en generadores de emergencia que tienen una estructura similar. El documento US 6.452.097 B1 se refiere a un silenciador de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. El documento US 5.274.201 se refiere al silenciador para reducir el ruido generado por el aire que irrumpe, que es producido por un soplador de aire para su uso en conjunto con un equipo transportador neumático, donde el silenciador comprende una cámara de absorción que proporciona una trayectoria serpenteante a través de la cámara.

10

En vista de la técnica anterior, sería deseable proporcionar silenciadores más fiables, rentables, y de mejor rendimiento para uso en plantas de separación de gases basada en adsorción.

### BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

15

La presente invención se refiere, en general, a la atenuación del ruido de un soplador de una planta de separación de gases PSA o VPSA basada en adsorción usando un silenciador como se define en la reivindicación 1. Más específicamente, la presente invención se refiere a un silenciador de bajo coste, fiable y eficiente para reducir el nivel de ruido (de por ejemplo, aproximadamente 170-180 dB) en la descarga del soplador de vacío de plantas de adsorción por oscilación de presión al vacío (VPSA) aguas abajo para satisfacer criterios de seguridad, medioambientales y/o normativos (por ejemplo, a 90 dBA). La presente invención es adecuada para uso en la descarga del soplador de vacío de sistema de VPSA de oxígeno y dióxido de carbono.

20

El silenciador de acuerdo con la presente invención también puede implementarse en la entrada de alimentación de plantas de separación de gases basada en adsorción (por ejemplo, plantas de adsorción por oscilación de presión (PSA) y/o VPSA). Además, el silenciador puede usarse en otras aplicaciones, por ejemplo, sistemas de PSA para separación de aire que producen oxígeno o nitrógeno. Aunque los silenciadores de acuerdo con la presente invención pueden utilizarse tanto en plantas de pequeño tonelaje como en plantas de gran tonelaje, se espera que los beneficios para la reducción de ruido se amplifiquen para las plantas más grandes.

30

Con respecto a sistemas de la técnica anterior, se espera que la presente invención facilite la facilidad de fabricación. Además, se espera una mayor atenuación de ruido con silenciadores producidos de acuerdo con la presente invención dado que estos silenciadores incluyen una capacidad de silenciamiento más reactiva y absorbente con respecto a silenciadores de la técnica anterior.

35

Los silenciadores de acuerdo con la presente invención incluyen tanto cámaras de reacción para atenuar pulsaciones de baja frecuencia como cámaras de absorción para atenuar ruido de media a alta frecuencia. Como se usa en el presente documento, un silenciador es una estructura en comunicación de flujo con un soplador y en comunicación de flujo con la atmósfera. Como se usa en el presente documento, una cámara es un recinto que tiene al menos una entrada y una abertura de salida. Las paredes exterior e interior del silenciador pueden estar formadas de hormigón. En contraste con silenciadores de carcasa de acero, los silenciadores de acuerdo con la presente invención están diseñados para no actuar como una fuente de ruido. El ruido de baja frecuencia se cancela en al menos una cámara de reacción que tiene al menos una abertura que sirve como entrada al silenciador y al menos una abertura que sirve como salida. Si dos cámaras de reacción están situadas adyacentes entre sí, entonces la salida de una cámara de reacción servirá como la entrada a la siguiente cámara de reacción, y estará ubicada en las paredes divisorias entre dichas cámaras. Al menos se proporciona una cámara de absorción y está diseñada para cancelar el ruido a frecuencias más altas que las capacidades de la cámara de reacción. Al menos una cámara de absorción tiene al menos una entrada y una salida, y tiene sus paredes interiores revestidas con al menos un material de absorción acústica. La al menos una cámara de absorción proporciona una trayectoria de flujo que promueve que las ondas sonoras incidan sobre el material de absorción acústica, y la trayectoria de flujo es de tipo serpenteante.

50

Más específicamente, una trayectoria de flujo serpenteante promueve que las ondas sonoras incidan sobre una o más superficies absorbentes acústicas múltiples veces y las ondas sonoras son absorbidas de forma mucho más eficaz con respecto a pasajes de flujo rectos. Las paredes interiores de las cámaras de absorción están cubiertas con material de absorción acústica que cancela eficazmente el ruido en una amplia gama de frecuencias. Adicionalmente, las superficies interiores de la cámara de reacción que está en comunicación de flujo directa con una cámara de absorción también pueden estar cubiertas con material de absorción acústica para proporcionar reducción de ruido tanto por reacción como por absorción.

60

- Los silenciadores de la presente invención incluyen al menos una, y preferentemente una pluralidad de cámaras de reacción. Las cámaras de reacción incluyen al menos una abertura en las paredes divisorias. Dichas aberturas reducen y/o minimizan la caída de presión y facilitan la facilidad de fabricación. El silenciamiento reactiva se proporciona en el silenciador utilizando expansiones y contracciones en áreas de sección transversal de la trayectoria de flujo de gas. En realizaciones alternativas, sin embargo, puede haber solamente una abertura en las paredes divisorias. Aunque puede ser posible incluir solamente una cámara de reacción (por ejemplo, en sopladores pequeños), realizaciones preferidas de acuerdo con la presente invención incluirán típicamente una serie de cámaras de reacción.
- 10 Los silenciadores de la presente invención también incluyen al menos una o más cámaras de absorción. En realizaciones en las que solamente hay una cámara de absorción, la cámara de reacción que está en comunicación de flujo directa con una cámara de absorción está cubierta preferentemente con uno o más materiales de absorción de modo que también proporciona capacidades de absorción. Las configuraciones de las cámaras de absorción proporcionan una trayectoria de flujo serpenteante. En realizaciones preferidas de la presente invención, todas las paredes interiores de las cámaras de absorción están cubiertas con material o materiales de absorción acústica. Se espera que el silenciamiento por absorción sea más eficaz en los silenciadores de la presente invención con respecto a la técnica anterior debido a la presencia de una gran área de superficie interior cubierta con el material o materiales de absorción acústica y la trayectoria de flujo serpenteante.
- 15 Como se ha mencionado anteriormente y como se describe a continuación, los silenciadores de la presente invención reducen y/o eliminan los problemas de vibración de la carcasa de acero característicos de muchos silenciadores de la técnica anterior. Las cámaras de reacción de acuerdo con la presente invención reducen el nivel de sonido irradiado al reflejar las ondas sonoras de vuelta a su fuente. Para proporcionar silenciamiento reactivo, el silenciador utiliza expansiones y contracciones en áreas de sección transversal de la trayectoria de flujo de gas.
- 20 Los silenciadores de la presente invención también pueden ser más fáciles de fabricar que los silenciadores de carcasa de acero o un silenciador con muchas piezas internas. Los silenciadores de carcasa de acero a veces experimentan fallos tales como grietas y fallos de la carcasa exterior, paredes divisorias interiores y tubos de impedancia debido a pulsaciones de baja frecuencia. La eliminación de la construcción con carcasa de acero de acuerdo con la presente invención proporciona una construcción fácil e interiores sencillos. En consecuencia, los silenciadores de la presente invención pueden fabricarse completamente en el sitio de la planta con un número mínimo o reducido de piezas enviadas. Los silenciadores de la presente invención tienen, de este modo, las ventajas de la sencillez y un mejor rendimiento de atenuación acústica. Los silenciadores de la presente invención también proporcionan la ventaja de una menor caída de presión en el silenciador, lo que puede ser una consideración importante para la eficiencia global de la planta.
- 25 Por consiguiente, los silenciadores de la presente invención proporcionan un importante beneficio económico ya que proporcionan tecnología que permite la construcción de plantas de separación de aire basada en adsorción a gran escala, tales como por ejemplo plantas O<sub>2</sub>-VPSA. Además, se espera que los costes de capital asociados con los silenciadores fabricados de acuerdo con la presente invención sean más bajos que los silenciadores de carcasa de acero típicos.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 45 Para una comprensión más completa de la presente invención y las ventajas de la misma, se debe hacer referencia a la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:  
 La figura 1 ilustra un sistema ejemplar que incorpora un silenciador en la descarga de un soplador de vacío;  
 La figura 2 ilustra un silenciador de acuerdo con una realización de la presente invención;  
 La figura 3 muestra la trayectoria de flujo de gas de acuerdo con el silenciador de la figura 2 para uso con un soplador de vacío;  
 La figura 4 muestra una vista de la situación ejemplar de aberturas en las cámaras de reacción de acuerdo con una realización adecuada para uso de acuerdo con la presente invención;  
 La figura 5 muestra un gráfico de pérdida de transmisión (dB) frente a frecuencia (Hz) calculada teóricamente para las cámaras de reacción;  
 La figura 6 muestra un gráfico de pérdida de transmisión (dB) frente a bandas de frecuencia (Hz) calculada teóricamente para cámaras de absorción; y  
 La figura 7 ilustra el nivel de presión acústica (dB) frente al tiempo medido experimentalmente para una unidad de ensayo de acuerdo con la presente invención como se describe a continuación en el presente documento.

#### 60 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Como se ha descrito anteriormente en el presente documento, la presente invención se refiere a la atenuación de ruido de un soplador de vacío usando un silenciador. La presente invención, más específicamente, proporciona un silenciador de bajo coste, fiable y eficiente para reducir los niveles de ruido a aproximadamente 90 dBA. En realizaciones ejemplares de la invención, el silenciador puede emplearse en la descarga del soplador de vacío en plantas de VPSA de oxígeno de gran tonelaje. El silenciador incluye cámaras de reacción para atenuar pulsaciones de baja frecuencia y cámaras de absorción para atenuar ruido de media a alta frecuencia.

Las paredes exterior e interior del silenciador pueden estar hechas de hormigón, incluyendo hormigón reforzado (por ejemplo, hormigón reforzado con acero). Otros materiales de construcción, sin embargo, pueden ser adecuados para uso de acuerdo con la invención. Por ejemplo y aunque no deben interpretarse como limitantes, pueden usarse ladrillos y/o bloques de mampostería. Además, el material de construcción puede ser diferente de las cámaras de reacción y de absorción. En una realización preferida, las cámaras de reacción pueden estar formadas de hormigón y las cámaras de absorción pueden estar formadas de bloque de mampostería. El o los materiales de construcción para las cámaras de reacción y de absorción deben facilitar la reducción de ruido. A diferencia de los silenciadores con carcasa de acero, los silenciadores de la presente invención no actuarán como una fuente de ruido. Las cámaras de reacción reducen el nivel de sonido irradiado reflejando las ondas sonoras de vuelta a su fuente. Para proporcionar silenciamiento reactivo, el silenciador utiliza expansiones y contracciones en áreas de sección transversal de la trayectoria de flujo de gas. La al menos una cámara de absorción proporciona una trayectoria de flujo serpenteante, y todas las paredes interiores de la o las cámaras de absorción están cubiertas con material de absorción acústica (por ejemplo, fibra de vidrio, lana de vidrio, lana mineral, fibras de nylon y/o similares) para cancelar eficazmente a altas frecuencias.

La figura 1 ilustra un sistema de adsorción de presión de vacío (VPSA) típico. Como se muestra en la figura 1, la planta de VPSA 10 incluye uno o más lechos adsorbentes (por ejemplo, 12, 14) que oscilan entre ciclos de adsorción y desorción. Durante una etapa de desorción, el lecho está conectado a un soplador de vacío 16, que hace que el gas adsorbido se desorba y se descargue como gas residual. Dichos sopladores desplazan una gran cantidad de gas desde la entrada a la salida mediante sus bolsas entre sus lóbulos y carcasa a un volumen relativamente constante. El flujo de gas al interior y fuera de los sopladores de esta manera no es constante, sino que en su lugar es una acción discreta (o intermitente). Debido a las diferencias de presión entre las bolsas de gas y las tuberías de salida, cada vez que las puntas del rotor limpian la carcasa, se crean fluctuaciones de presión. Dichas fluctuaciones crean pulsación de gas y ruido. Estas pulsaciones están en función del tamaño y la velocidad del soplador, en la que tamaños de soplador más grandes y velocidades de rotación más altas crean niveles de pulsación más elevados y, por lo tanto, de ruido más fuertes.

Para reducir la pulsación, y, por lo tanto, el ruido disipado por el gas descargado, las plantas de VPSA emplean un silenciador 18 en la descarga del soplador de vacío. El nivel de presión acústica en la salida de un soplador de vacío de gran tamaño típico puede alcanzar niveles hasta 170-180 dB. Debido a cuestiones de seguridad y medioambientales, sin embargo, es necesario reducir estos niveles de ruido a niveles de aproximadamente 90 dBA.

Además, también puede ser deseable incluir un silenciador de entrada 20, como se muestra también, por ejemplo, en la figura 1. Los silenciadores de acuerdo con la presente invención también pueden usarse como silenciadores de entrada y situarse aguas arriba de un soplador de alimentación 22 como se muestra en la figura 1. Cuando el silenciador de acuerdo con la presente invención está conectado a la descarga del soplador de vacío, gas proveniente del soplador de vacío entra en el silenciador a través de una cámara de reacción y sale del silenciador a través de una cámara de absorción. Cuando el silenciador está conectado a la toma de un soplador de alimentación, gas proveniente de la atmósfera entra en el silenciador a través de una cámara de absorción y sale del silenciador a través de la cámara de reacción al soplador.

El tamaño global de un silenciador depende de varios factores, incluyendo la reducción de ruido deseada y el caudal de un gas particular. La reducción de ruido depende principalmente de la longitud del silenciador, y el área del silenciador está determinada por el caudal de gas. A medida que el tamaño de la planta aumenta, el flujo promedio a través del silenciador también aumenta. Por consiguiente, es necesario aumentar el área del silenciador para tener una velocidad de flujo aceptable en el silenciador.

Como se ha mencionado anteriormente, la atenuación acústica en los silenciadores de la presente invención se consigue utilizando secciones tanto de reacción como de absorción. El o los componentes reactivos principalmente proporcionan una reducción de ruido máxima en el intervalo de baja frecuencia (<250 Hz) y el o los componentes de absorción proporcionan reducción de ruido en intervalos de frecuencia media (entre 250-500 Hz) y alta (>500 Hz).

Como también se ha mencionado anteriormente en el presente documento, el tamaño y la velocidad del soplador dictan el tamaño del silenciador. Por lo tanto, los expertos en la materia apreciarán que el silenciador de acuerdo con la presente invención puede modificarse para ajustarse a dichos criterios. Aunque no debe interpretarse como limitante, una realización ejemplar incluye un silenciador diseñado para un soplador de vacío grande, por ejemplo, un soplador de vacío capaz de funcionar a un flujo de aire de aproximadamente 991 m<sup>3</sup>/min (35000 scfm) y funcionar a velocidades entre aproximadamente 1400 rpm y 2200 rpm. El soplador puede tener dos rotores trilobulados, en consecuencia, la frecuencia primaria de las pulsaciones es seis veces la velocidad del árbol. Como resultado, el silenciador de hormigón puede estar diseñado para proporcionar la mejor atenuación de ruido para el intervalo de frecuencias de 140 Hz a 220 Hz. Además, hay mayores armónicos de estas frecuencias en el espectro de frecuencias de las ondas sonoras, y el silenciador de la presente invención también es capaz de atenuar dicho ruido de alta frecuencia.

Además, los canales de flujo en dicho silenciador pueden estar diseñados para alojar cómodamente el flujo de 991 m<sup>3</sup>/min (35000 scfm) de aire proporcionado por el soplador. Las velocidades de flujo bajas dentro del silenciador son importantes tanto para una caída de presión baja como para prevenir el deterioro del material de absorción acústica. Como criterio de diseño, la velocidad de flujo en la entrada del silenciador se mantiene por debajo de 22,9 m/s (75 pies/s), mientras que la velocidad de flujo promedio dentro del silenciador en cualquier sección se mantiene por debajo de 4,57 m/s (15 pies/s) para prevenir el deterioro de materiales de absorción (por ejemplo, fibra de vidrio) en las superficies de las cámaras de absorción. Además, la longitud de las aberturas entre las cámaras en la sección de absorción se mantiene preferentemente a aproximadamente tercio de la longitud de la cámara para minimizar la caída de presión en estas cámaras.

Como se ha mencionado anteriormente en el presente documento, el silenciador puede modificarse para ajuste para variaciones en aplicaciones. Por consiguiente, los silenciadores de acuerdo con la presente invención pueden diseñarse como una estructura escalable y pueden diseñarse fácilmente para ser eficaces a otras velocidades (es decir, otros intervalos de frecuencia eficaces) y caudales del soplador. Los silenciadores que incorporan las características de la presente invención también pueden estar diseñados para uso en la entrada de alimentación como se ha descrito anteriormente en el presente documento.

Mediante diseño, un silenciador de acuerdo con la presente invención podría estar ubicado justo en la descarga del soplador de vacío con conexión por tuberías mínima. Esto podría ser particularmente ventajoso para impedir la resonancia en las conexiones por tuberías desde el soplador hasta el silenciador. La longitud de dichas tuberías no debe ser igual a o cercana a un cuarto de la longitud de onda de los pulsos. De esta manera, las pulsaciones de tuberías se minimizarán. Para ahorrar espacio y para proporcionar insonorización adicional, el silenciador y, particularmente, sus secciones de reacción pueden colocarse bajo tierra. El silenciador puede extenderse vertical u horizontalmente.

Una geometría ilustrativa y no limitante de un silenciador 50 para el soplador mencionado anteriormente se muestra en las figuras 2-4. Se espera que una superficie ocupada ejemplar para un soplador que tiene las capacidades mencionadas anteriormente (es decir, funcionamiento un flujo de aire de 35000 scfm y entre 1400-2200 rpm) sea de aproximadamente 12' por 17' y 24' de altura con un grosor de pared de aproximadamente 12".

A medida que el soplador descarga el gas residual, el flujo pulsátil entra en el silenciador a través de la abertura de entrada 26 y se expande en el interior de la cámara de reacción 28. En la realización mostrada, hay tres cámaras de reacción (28, 30, 32) en la sección inferior del silenciador. Las paredes divisorias (34, 36, 38) de cada una de estas cámaras pueden tener al menos una abertura (por ejemplo, múltiples aberturas de 2' de diámetro). Una vista ejemplar de estas paredes se muestra en la figura 4. Los expertos en la materia apreciarán que otras disposiciones para la o las aberturas en las paredes divisorias de dichas cámaras pueden estar diseñadas para uso de acuerdo con la presente invención. La geometría de las paredes divisorias proporciona expansión y contracción en áreas de sección transversal de la trayectoria de flujo de gas en una serie de cámaras como se ha descrito anteriormente. Al hacer esto, el ruido de baja frecuencia y las pulsaciones se atenúan. Éste es el principio subyacente del silenciamiento reactivo. Además, el área total de la o las aberturas de la salida está diseñado para ser de aproximadamente un 33% mayor que la entrada para minimizar la caída de presión. Por ejemplo, y en una realización ilustrativa, la cámara 30 tiene tres aberturas (por ejemplo, aberturas de 2' de diámetro) en la pared divisoria 34 en el lado de entrada, mientras que en la pared divisoria 36 en el lado de salida, hay cuatro de dichas aberturas.

Como se muestra adicionalmente en las figuras 2-4, hay también múltiples cámaras de absorción (40, 42, 44) en el silenciador 50. Cada cámara de absorción (40, 42, 44) tiene sus superficies interiores revestidas con material o materiales de absorción acústica (por ejemplo, fibra de vidrio). Dicho revestimiento interno es suficientemente grueso

(por ejemplo 2 pulgadas de grosor en algunas realizaciones) con el fin de facilitar la reducción del ruido en el intervalo de frecuencia media a alta ( $> 250$  Hz). En estas cámaras, el ruido de alta frecuencia se atenúa principalmente mediante atenuación acústica. El tamaño de estas cámaras está diseñado para proporcionar velocidades de flujo bajas del gas, de modo que éste no deteriorará el material o los materiales de absorción y  
5 causará una caída de presión más baja.

El gas residual se descarga a la atmósfera a través de la abertura 46 en la parte superior del silenciador. Si el silenciador está diseñado como una unidad subterránea o una unidad parcialmente subterránea, entonces es necesario que la abertura de salida 46 se extienda muy por encima del nivel del suelo para no causar asfixia por  
10 nitrógeno. Para los diseños por encima del suelo, una cubierta contra la lluvia en esta salida debe bastar para la mayoría de aplicaciones.

En el silenciador para el soplador mencionado anteriormente, hay tres cámaras de reacción en serie. Independientemente del número de cámaras, las cámaras de reacción reducen el nivel de sonido irradiado  
15 reflejando las ondas sonoras de vuelta a su fuente. Para proporcionar silenciamiento reactivo, el silenciador utiliza expansión y contracción en áreas de sección transversal de la trayectoria de flujo de gas. Las cámaras de reacción son principalmente eficaces para atenuar ruido de baja frecuencia (150-250 Hz).

Como es bien conocido mediante una teoría de amortiguador unidimensional, la magnitud de pérdida de transmisión  
20 en una única cámara de reacción es determinada por el tamaño de las áreas de entrada, de salida y de las cámaras, mientras que la longitud de la cámara determina el intervalo de frecuencia eficaz del silenciador. Por esta razón, la selección de las longitudes de la cámara es muy importante para silenciamiento eficaz. Si la longitud de la cámara es igual a múltiplos de un cuarto de la longitud de onda ( $L=\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4\dots$ ), la pérdida de transmisión estará en un máximo. Por otro lado, si la longitud de la cámara es igual a múltiplos de la mitad de la longitud de onda ( $L=\lambda/2, \lambda,$   
25  $3\lambda/2,\dots$ ), la pérdida de transmisión será nula.

Manteniendo esta teoría en mente, cada una de las tres cámaras de reacción está diseñada para proporcionar el nivel deseado de pérdida de transmisión en el intervalo de frecuencia de interés. La pérdida de transmisión total proporcionada por el número de cámaras de reacción (por ejemplo, tres) es la suma de cada uno del número (por  
30 ejemplo, tres) de pérdidas de transmisión. La pérdida de transmisión teórica calculada (atenuación acústica) en función de la frecuencia de las ondas sonoras por cada una de las tres cámaras para la realización descrita anteriormente y su suma se muestran en la figura 5. Las cámaras de reacción están diseñadas para proporcionar una pérdida de transmisión de aproximadamente 40-50 dB en el intervalo de frecuencia de interés de 150-250 Hz.

35 Las cámaras de absorción atenúan el sonido convirtiendo la energía acústica en calor por fricción en los vacíos entre las partículas de gas oscilantes y el material de absorción acústica fibroso/poroso. Los silenciadores de absorción son eficaces para atenuar ruido de media y alta frecuencia.

En el silenciador ejemplar descrito anteriormente, la atenuación acústica por absorción tiene lugar en las tres  
40 cámaras impelentes superiores. Las superficies internas de estas cámaras están revestidas con material absorbente (por ejemplo, fibra de vidrio de 2" de grosor). En la unidad de ensayo descrita en el ejemplo a continuación, solamente se instalan paneles de fibra de vidrio desnudos, dado que la unidad se usará durante periodos de tiempo relativamente cortos. Los materiales de absorción tales como superficies de fibra de vidrio, sin embargo, pueden estar cubiertos con láminas perforadas (por ejemplo, chapas delgadas perforadas) para proporcionar protección  
45 adicional del material o materiales de absorción frente al daño en superficie. Dichas perforaciones pueden estar preferentemente en el intervalo del 25-50% de área abierta.

Como se ha mencionado anteriormente, materiales disponibles en el mercado diferentes de fibra de vidrio también pueden emplearse como material de absorción acústica. Un criterio importante cuando se usa fibra de vidrio o  
50 material similar a fibra de vidrio es que el material debe soportar velocidades de flujo de hasta aproximadamente 40 pies/s. Adicionalmente, sus propiedades de absorción acústica no deben deteriorarse a temperaturas elevadas hasta aproximadamente 300 °F. Materiales diferentes de fibra de vidrio, tales como lana mineral, fibras de nylon o similares también pueden usarse como material de absorción acústica en las cámaras de absorción siempre que las propiedades de absorción acústica del material no se deterioren a temperaturas que salen del soplador (por ejemplo  
55 aproximadamente 300 °F) y con velocidades superficiales altas. Las combinaciones de dichos materiales también pueden usarse del mismo modo. En algunas realizaciones específicas, las cámaras de absorción están diseñadas para proporcionar colectivamente aproximadamente 50 dB de atenuación acústica. De forma más general, sin embargo, la geometría de la cámara y el coeficiente de absorción acústica del material absorbente determinan la atenuación total (pérdida de transmisión) proporcionada por la cámara o cámaras de absorción. La pérdida de  
60 transmisión calculada esperada para cada banda de octavas para el caso de una, dos y tres cámaras se muestra en

la figura 6. Como se ilustra en la figura 6, las cámaras de absorción son más eficaces a frecuencias más altas que a frecuencias más bajas (por ejemplo, una sección de absorción de tres cámaras puede proporcionar 25-30 dB de atenuación acústica en el intervalo de frecuencia de interés de 140-220 Hz, en oposición a cerca de 50 dB para una frecuencia más alta). En la práctica, sin embargo, la atenuación total probablemente será más alta dado que las ondas sonoras entrantes no son ruido de baja frecuencia puro, sino que también tienen ruido de frecuencia más alta debido a otros armónicos.

Otro importante factor a considerar en el diseño de un silenciador es la cantidad de caída de presión (o contrapresión) inducida por el silenciador en la salida del soplador. La caída de presión más baja puede ser deseable para una eficiencia de la planta mayor global. Tanto las simulaciones informáticas como los resultados experimentales sugieren que el silenciador ejemplar diseñado con tres cámaras de reacción en serie con tres cámaras impelentes de absorción da una caída de presión de aproximadamente 0,15 psi en condiciones de flujo máximo. Como se espera, la mayoría de la caída de presión tiene lugar en las cámaras de reacción debido a expansión y contracción múltiple del flujo. Ésta es mucho menor que la caída de presión de algunos silenciadores de carcasa de acero típicos. Dado que las plantas no funcionan a caudales máximos de forma continua, se espera que la caída de presión promedio sea menor, y en algunos casos, mucho menor.

La unidad puede estar construida como una unidad que se extiende verticalmente. El silenciador también puede estar construido como una estructura que se extiende horizontalmente o una combinación de estructuras que se extienden vertical y horizontalmente. Con extensión vertical, una multitud de secciones pueden estar construidas en una superficie ocupada muy limitada. Esto puede ser ventajoso cuando el espacio es limitado. Como alternativa, una estructura que se extiende horizontalmente puede colocarse bajo tierra para ahorrar espacio. Adicionalmente, una unidad subterránea proporcionará la ventaja de insonorización adicional por el suelo. El silenciador también puede estar diseñado como una unidad parcialmente subterránea, con por ejemplo cámaras de reacción que están colocadas bajo tierra dado que principalmente las pulsaciones de baja frecuencia están en estas cámaras. Diversas disposiciones diferentes pueden estar hechas dependiendo del espacio disponible en el área de la planta. En algunos lugares, el espacio de la planta podría ser limitado mientras que en otras de dichas limitaciones puede no existir.

Como se muestra a continuación, las paredes que dividen las cámaras en las secciones de reacción de la unidad de ensayo tienen múltiples aberturas circulares de 2 pies de diámetro. La forma de estas aberturas, sin embargo, pueden ser rectangulares o cualquier otra forma siempre que el área total de la o las aberturas de salida de una cámara sea aproximadamente un 33% más que la abertura o aberturas de entrada (para consideración de la caída de presión). Para fines de ilustración, puede haber más de tres orificios en la pared divisoria 34, o más de cuatro orificios en la segunda 36 y tercera 38 paredes divisorias. Si el número de orificios aumenta, entonces el tamaño de los orificios debe reducirse en consecuencia para mantener aproximadamente la misma área abierta total en las paredes.

La geometría actual de las cámaras de silenciamiento proporciona la cancelación acústica necesaria en las cámaras de reacción. Además, pueden colocarse tubos de impedancia en las aberturas para mejorar la pérdida de transmisión en el intervalo de frecuencia de interés. Las longitudes relativas de los tubos y las cámaras, junto con la longitud de onda de las ondas sonoras determinan la mejora de la atenuación de ruido. La longitud del o de los tubos en cada cámara debe ser preferentemente una mitad de la longitud de la cámara para proporcionar la máxima atenuación. Tener perforaciones en la superficie de los tubos puede aumentar adicionalmente la atenuación del ruido.

El grosor de las paredes de hormigón en la unidad de ensayo descrita a continuación es de 12". Este grosor se debe parcialmente a proporcionar soporte estructural para el silenciador que se extiende verticalmente. En el caso de una unidad que se extiende horizontalmente o subterránea, el grosor de la pared puede ser menor, de 6" a 8" de grosor en comparación con 12" de grosor.

En el ejemplo a continuación, la unidad incluía tres cámaras de reacción y tres de absorción. El número de cámaras puede disminuir o aumentar para proporcionar la atenuación del ruido necesaria. Como alternativa, algunas de estas cámaras pueden estar diseñadas para proporcionar atenuación de ruido tanto por reacción como por absorción. Por ejemplo, las superficies interiores de las últimas fases de las cámaras de reacción próximas a las cámaras de absorción pueden estar cubiertas con material de absorción acústica para mejorar la atenuación del ruido en estas cámaras. Dicha cámara de reacción debe ser preferentemente la cámara de reacción que está en comunicación de flujo directa con la cámara de absorción dado que el nivel de pulsaciones debe reducirse sustancialmente para no dañar el material de absorción o su instalación. Por consiguiente, dichas cámaras pueden proporcionar atenuación acústica tanto por reacción como por absorción.



Los tamaños particulares de las cámaras y el silenciador en el ejemplo a continuación están diseñados específicamente para un soplador grande que, en condiciones nominales de funcionamiento, proporciona 35000 scfm. Para tamaños de sopladores más grandes o más pequeños, el silenciador se puede diseñar simplemente conservando la relación de caudales volumétricos en todas las secciones de flujo. Es decir, por ejemplo, el uso de un soplador que proporciona un 25% más de corriente de salida causa un aumento del 25% en el área de flujo.

Para aumentar el silenciamiento por absorción, pueden colocarse paneles de pared verticales y horizontales interiores dentro de las cámaras de absorción como se ha descrito anteriormente. Dichas paredes dividen las áreas de flujo en dos, tres, cuatro o cualquier número de secciones, y ambos lados de estas paredes divisorias pueden estar cubiertos con material o materiales de absorción acústica para proporcionar atenuación del ruido adicional.

### **Ejemplo**

Para validar las estimaciones analíticas, se realizó un estudio experimental construyendo una unidad de ensayo del silenciador de hormigón con el tamaño y la geometría mencionados anteriormente. Más específicamente, el silenciador incluía tres cámaras de reacción y tres cámaras de absorción revestidas con fibra de vidrio de 2" de grosor como se muestra en las figuras 2-4. El silenciador se diseñó para funcionamiento con un soplador capaz de funcionamiento a un flujo de aire de 35000 scfm a 1400-2200 rpm.

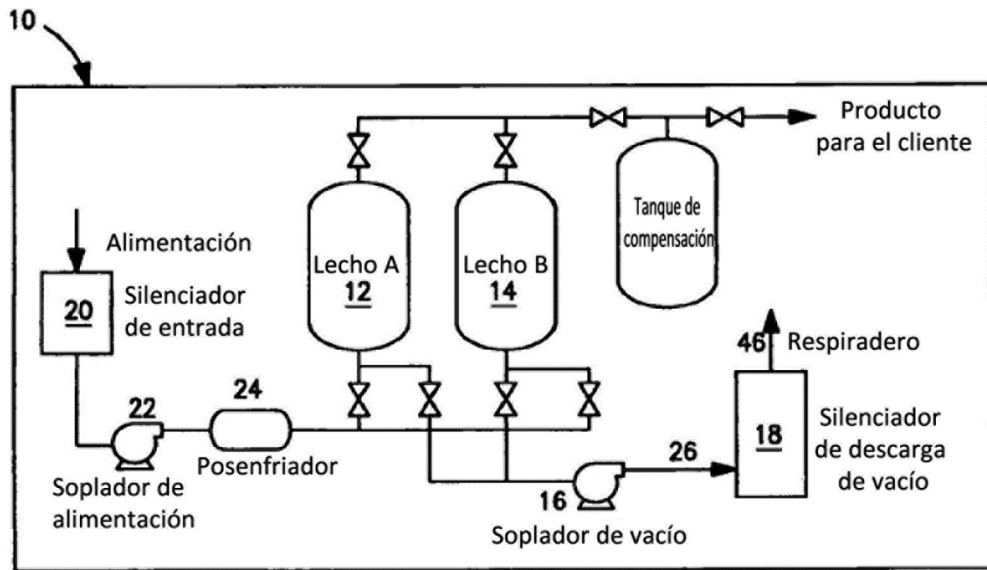
Se colocaron sensores de pulsación de presión en cada cámara para medir el nivel de presión acústica y, por lo tanto, la eficacia de cada cámara. Las mediciones se realizaron para diversas velocidades de rotación del rotor con diferentes condiciones de vacío del soplador.

La figura 7 muestra los resultados de ensayo del nivel de presión acústica para la salida del soplador y la salida de cada cámara en el silenciador para velocidades del soplador de 1800, 2000 y 2200 rpm, y estando la entrada del soplador accionada a presiones de 1, 3, 5 y 7 psi mientras la velocidad se fijó a 1800 rpm, la válvula se ajustó a 1 psi, los datos se registraron, y luego la válvula se cambió a 3 psi, los datos se registraron, y de forma similar para 5 psi y 7 psi). Comparar el nivel de presión acústica medido entre la salida del soplador (primero desde arriba) y la salida de la cámara 3 (cuarto desde arriba) proporciona la eficacia de las tres cámaras de reacción en combinación. Según lo diseñado, las cámaras de reacción proporcionaron colectivamente una atenuación de ruido de aproximadamente 40-50 dB. De forma similar, comparar los niveles de presión acústica entre las salidas de la cámara 3 (cuarto desde arriba) y la cámara 6 (la cámara final) muestra la eficacia colectiva de las tres cámaras de absorción. Los resultados medidos sugieren aproximadamente 20-25 dB de atenuación acústica por las cámaras de absorción. También es importante señalar que el nivel de presión acústica medido en la salida del silenciador está influenciado por el ruido del soplador y del motor, por ejemplo, las mediciones dentro de la última cámara del silenciador sugieren una atenuación del ruido de aproximadamente 10 dB por las cámaras de absorción en comparación con unos pocos pies fuera de la salida del silenciador. La unidad de ensayo se ubicó en interior. En consecuencia, los resultados de los ensayos pueden verse afectados en relación con una unidad en exterior. Los resultados medidos para las cámaras tanto de reacción como de absorción, sin embargo, concuerdan con las estimaciones analíticas.

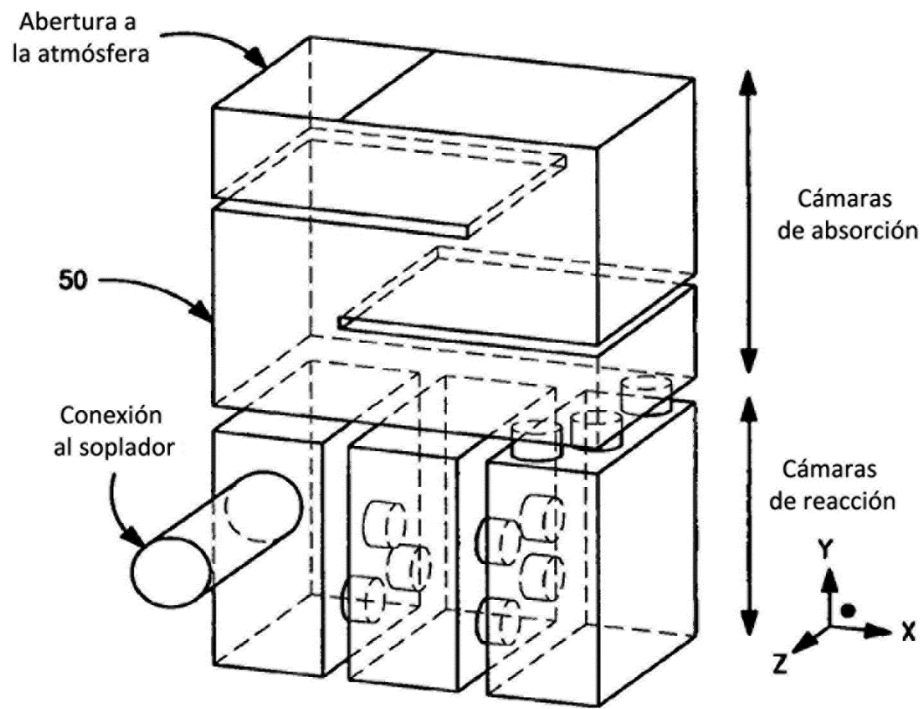
Los expertos en la materia deben apreciar que las realizaciones específicas descritas anteriormente pueden utilizarse fácilmente como base para modificar o diseñar otras estructuras para llevar a cabo los mismos fines de la presente invención tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

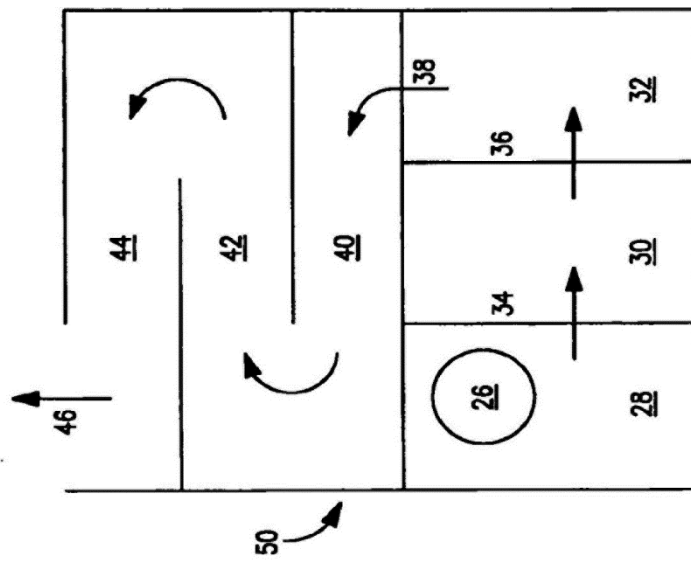
1. Un silenciador para atenuar el ruido proveniente de un soplador (16) usado en plantas de separación de gases basada en adsorción (10), comprendiendo el silenciador (18) al menos una cámara de absorción (40, 42, 44), donde las plantas son plantas PSA o VPSA, al menos una cámara de reacción (28, 30, 32), la al menos una cámara de reacción separada de otra cámara por una pared divisoria (34, 36, 38), incluyendo cada pared divisoria al menos una abertura en su interior; **caracterizado porque** la al menos una cámara de absorción tiene una pared divisoria y proporciona una trayectoria serpenteante a través de la al menos una cámara de absorción, donde el área total de la o las aberturas de salida de la al menos una cámara de reacción está diseñada para ser aproximadamente un 33% mayor que el área total de la o las aberturas de entrada de la al menos una cámara de reacción para minimizar la caída de presión, donde el silenciador con respecto a los canales de flujo, incluyendo el tamaño de la al menos una cámara de absorción, está diseñado de modo que la velocidad de flujo en la entrada del silenciador (28) se mantenga por debajo de 22,9 m/s (75 pies/s), mientras que la velocidad de flujo promedio dentro del silenciador en cualquier sección se mantiene por debajo de 4,6 m/s (15 pies/s) para prevenir el deterioro de al menos un material absorbente en paredes interiores de la al menos una cámara de absorción; y donde el silenciador contiene suficiente material de absorción acústica seleccionado para reducir los niveles de ruido a por debajo de 90 dBA.
2. El silenciador de la reivindicación 1, donde el silenciador (18) está formado de hormigón.
3. El silenciador de la reivindicación 2, donde la al menos una cámara de absorción cubierta (40, 42, 44) contiene al menos un material de absorción acústica a un grosor seleccionado para absorber y reducir el ruido a frecuencias por encima de 250 Hz.
4. El silenciador de la reivindicación 2, donde el al menos un material de absorción se selecciona de entre el grupo que comprende: fibra de vidrio, lana de vidrio, lana mineral y fibras de nylon.
5. El silenciador de la reivindicación 4, donde el al menos un material de absorción comprende fibra de vidrio.
6. El silenciador de la reivindicación 5, donde la al menos una cámara de absorción cubierta (40, 42, 44) incluye además una chapa perforada dispuesta sobre una superficie del al menos un material de absorción.
7. El silenciador de la reivindicación 6, donde la chapa perforada contiene aproximadamente el 25-50% de área abierta.
8. El silenciador de la reivindicación 1, donde el soplador comprende un soplador de vacío (16).
9. El silenciador de la reivindicación 1, donde la al menos una abertura de la al menos una cámara de reacción (28, 30, 32) contiene un tubo de impedancia en la al menos una abertura de la al menos una cámara de reacción.
10. El silenciador de la reivindicación 1, donde el número de cámaras de reacción (28, 30, 32) es tres y el número de cámaras de absorción (40, 42, 44) es tres.
11. El silenciador de la reivindicación 1, donde el número de cámaras de reacción (28, 30, 32) es cinco y el número de cámaras de absorción (40, 42, 44) es dos.
12. El silenciador de la reivindicación 1, donde la al menos una cámara de reacción (28, 30, 32) está formada de un material seleccionado de entre el grupo que comprende: hormigón, ladrillo y bloque de mampostería.



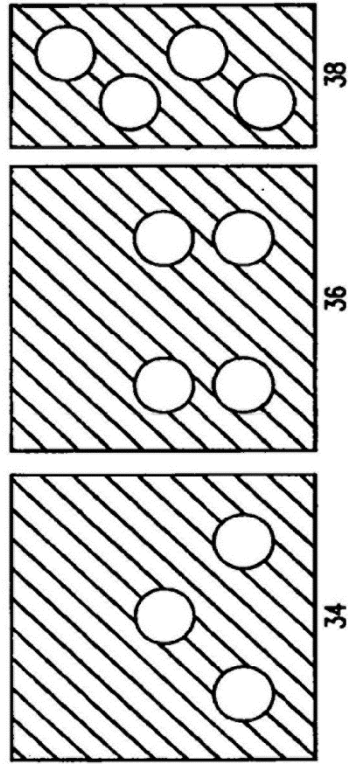
**FIG. 1**



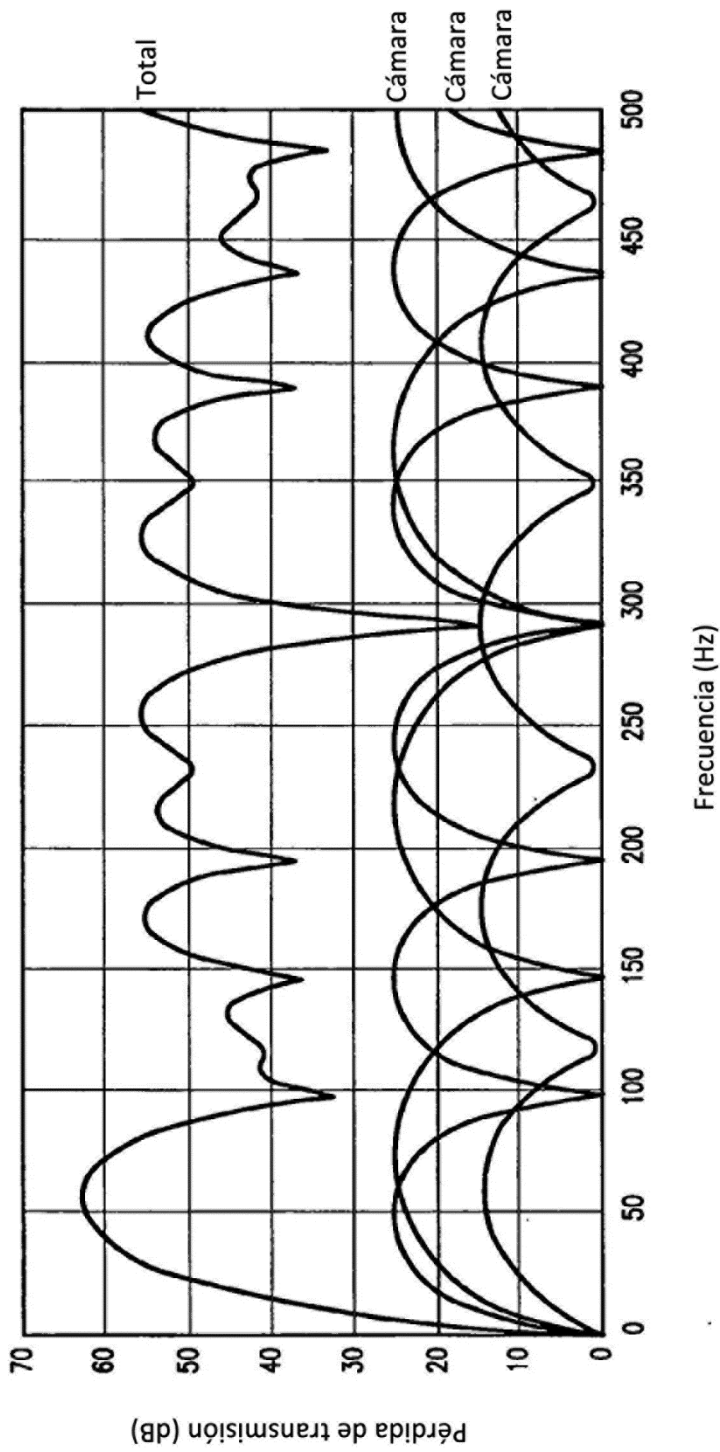
**FIG. 2**



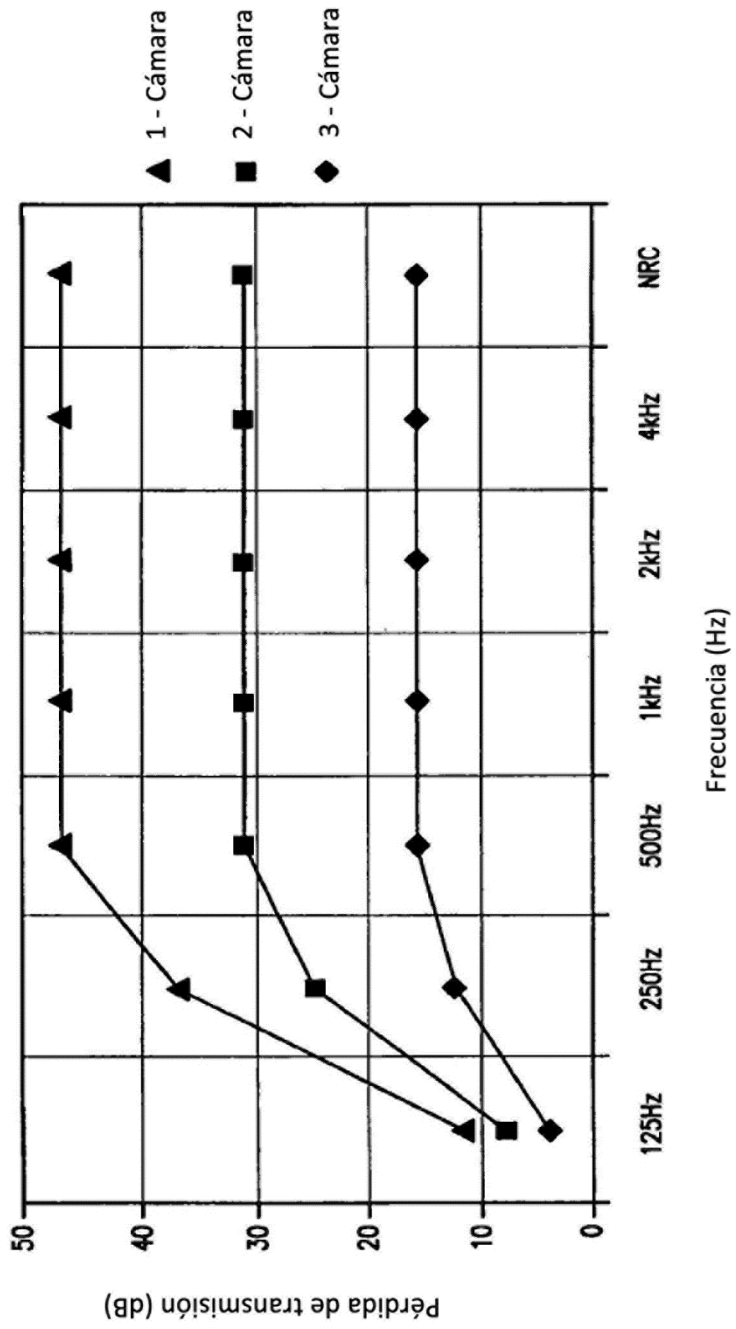
**FIG. 3**



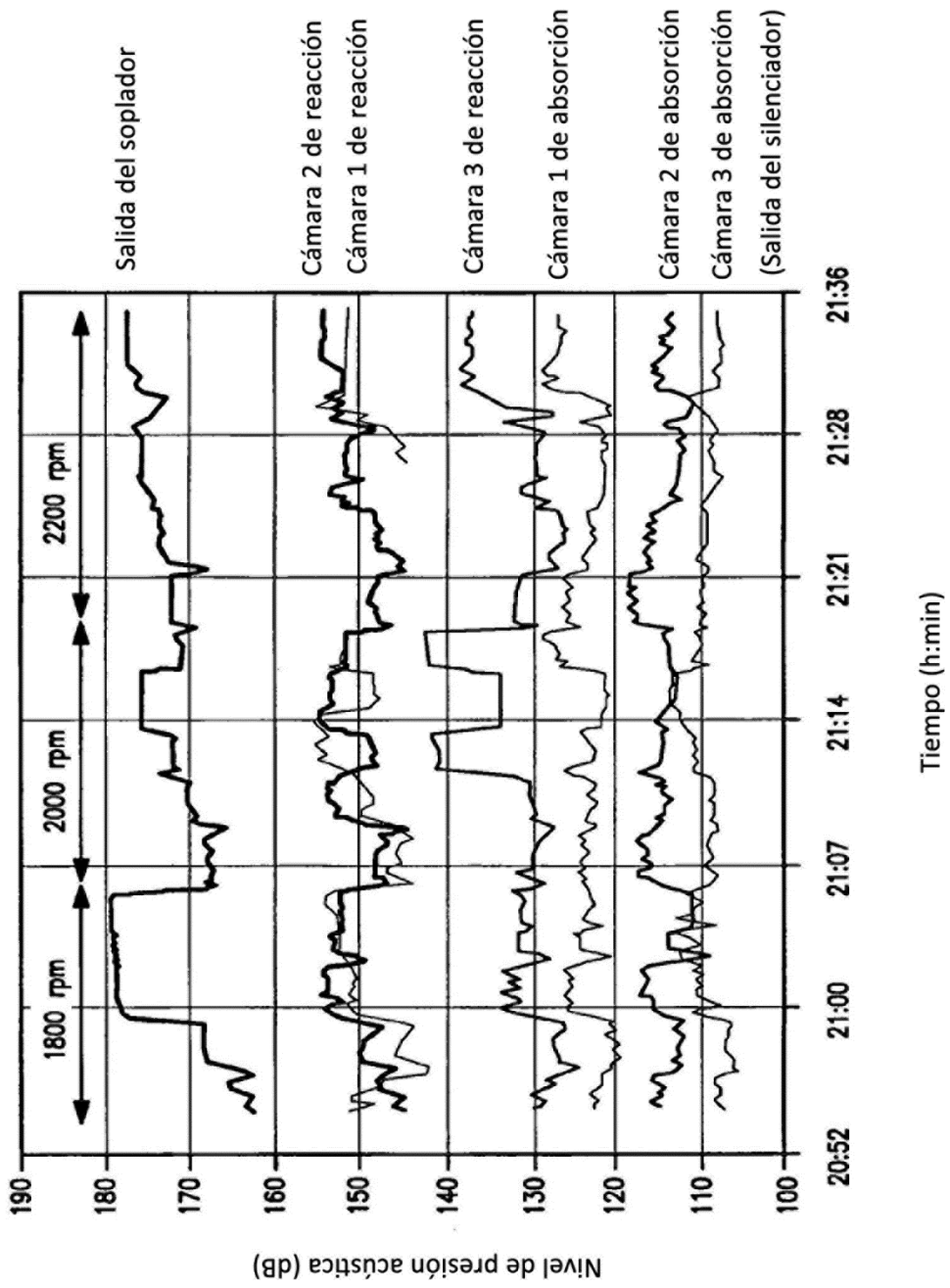
**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7**