

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 441 068**

51 Int. Cl.:

F04D 25/16 (2006.01)

F04D 29/66 (2006.01)

B01D 53/047 (2006.01)

B01D 53/053 (2006.01)

B01D 53/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2007 E 07809904 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2013 EP 2044332**

54 Título: **Soplantes gemelas para plantas de separación de gases**

30 Prioridad:

30.06.2006 US 477908

29.09.2006 US 540221

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

31.01.2014

73 Titular/es:

PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)

39 OLD RIDGEBURY ROAD

DANBURY, CT 06810-5113, US

72 Inventor/es:

CELIK, CEM, E. y

SMOLAREK, JAMES

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 441 068 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

Soplantes gemelas para plantas de separación de gases

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a la cancelación de pulsaciones o impulsos de presión y, en consecuencia, del ruido inducido durante el funcionamiento de soplantes del tipo que se utiliza en los sistemas de separación de gases.

Antecedentes de la invención

10 Los procedimientos de separación de gases no criogénicos, especialmente los procedimientos de adsorción, se utilizan para separar diversos componentes de una mezcla gaseosa, por ejemplo, el oxígeno del aire. Los procedimientos de adsorción por oscilaciones de presión (PSA –“pressure swing adsorption”) incluyendo procedimientos de adsorción / desorción superatmosférica, o a una presión superior a la atmosférica, procedimientos de adsorción por oscilación de succión subatmosférica, o a una presión inferior a la atmosférica (VSA –“vacuum swing adsorption”), y de adsorción por oscilación de presión de succión transatmosférica (VPSA –“vacuum pressure swing adsorption”), se han venido utilizando durante décadas para la separación del aire y son bien conocidos en la técnica.

15 Los procedimientos de PSA, VSA y VPSA convencionales emplean soplantes de desplazamiento positivo ya sea para el aporte de fluido al interior de la vasija adsorbente, ya sea para su expulsión o escape desde esta. Las plantas de separación de gases de grandes dimensiones, incluidas las plantas de VPSA, requieren un elevado flujo de gas al interior y al exterior de los lechos de adsorción. Las soplantes de que se dispone en el mercado para un uso inmediato no son capaces de suministrar el flujo de aire requerido al interior de la planta, y las soplantes construidas de forma personalizada o por encargo llegan a ser, en este intervalo de tamaños, prohibitivamente caras. Además de ello, las soplantes más grandes generan impulsos de presión más altos en la planta, que podrían dañar el equipo y conducir a magnitudes o niveles de ruido más altos.

25 En las plantas de VPSA, las soplantes desplazan una gran cantidad de gas desde la entrada situada en el lado de toma, hasta la salida situada en el lado de descarga, a un volumen relativamente constante, a través de unos embolsamientos o volúmenes de trabajo situados entre los lóbulos o álabes de cada soplante y el alojamiento. El flujo de gas que entra y sale de una soplante no es estacionario, sino que, antes bien, es una acción discreta. Debido a las diferencias de presión entre los embolsamientos de gas y las conducciones o tuberías, cada vez que las puntas del rotor dejan libre el alojamiento o se separan de él, ello causa fluctuaciones de presión. Tales fluctuaciones crean pulsaciones o impulsos de presión. Estas pulsaciones son función del tamaño y de la velocidad de la soplante. Dentro de las conducciones y del equipo de la planta, estas pulsaciones se manifiestan como vibraciones, que sacuden las conducciones y el equipo de la planta y pueden dar como resultado daños graves. En el aire ambiental, estas pulsaciones se manifiestan como ruido, que puede ser extremadamente alto. A medida que crece la demanda de una capacidad de producción más elevada de estas plantas, el tamaño de la planta y el tamaño de las soplantes de la planta se incrementan. Sin embargo, tamaños más grandes y velocidades de rotación más altas de la soplante crean pulsaciones más altas, lo que podría resultar perjudicial para el equipo de la planta, tal como para el enfriador posterior, los lechos y las conducciones, y puede también generar niveles de ruido más elevados. Por lo general, las pulsaciones más dañinas son las generadas a baja frecuencia. La frecuencia primaria o fundamental de las pulsaciones generadas por las soplantes es la frecuencia más baja del espectro de frecuencias, lo que hace que suponga un enorme reto suprimir o cancelar estas pulsaciones.

40 A fin de minimizar el impacto de las pulsaciones, las plantas de separación de gases pueden utilizar silenciadores en la entrada y/o en la descarga de la soplante. Sin embargo, tales silenciadores llegan a ser prohibitivamente caros para las plantas más grandes y reducen la eficiencia de la planta al inducir una caída de presión o pérdida de carga en el flujo. Incluso aunque estos silenciadores son capaces de reducir las pulsaciones y el ruido, el problema de las pulsaciones sigue, sin embargo, presente y es necesario eliminarlo por algún otro medio.

45 Las tentativas anteriores de solucionar el problema de las pulsaciones y el ruido incluyen la instalación de un amortiguador de pulsaciones del tipo de Helmholtz, también conocido como resonador de Helmholtz (Patente de los EE.UU. Nº 5.957.664), silenciadores de descarga de semienvueltas cilíndricas de metal (Patentes de los EE.UU. Nos. 5.957.664 y 5.658.371), y silenciadores de hormigón de tipo subterráneo (Patente de los EE.UU. Nº 6.451.097). En particular, los silenciadores del tipo de semienvueltas cilíndricas de metal se utilizan de forma generalizada en la industria, pero no son muy efectivos en su uso con pulsaciones de gran amplitud y baja frecuencia. A fin de mejorar su efectividad, se ha sugerido que los silenciadores del tipo de semienvueltas cilíndricas de metal sean utilizados en combinación con un resonador de Helmholtz (Patente de los EE.UU. Nº 5.957.664). Sin embargo, estos resonadores únicamente son efectivos a la hora de suprimir pulsaciones a ciertas frecuencias. Estos métodos de silenciamiento están basados en principios de supresión del sonido por reacción y absorción. El obstáculo más grande a la hora de diseñar una planta de separación de gases de gran tamaño es que esta requiere un caudal de flujo mucho más alto que únicamente puede conseguirse, bien utilizando una única soplante más grande que las que se encuentran disponibles en el mercado, o bien utilizando dos soplantes comercializadas para uso inmediato, más pequeñas, de forma simultánea. La Patente de los EE.UU. Nº 5.656.068 divulga un procedimiento de VPSA de cuatro lechos, que

se hace funcionar como dos pares de sistemas de 2 lechos, al que se hace referencia como ciclo / sistema 2x2, para producir oxígeno a partir de aire. Cada par de lechos se hace funcionar con un desfase de 180°, y los dos pares de lechos se hacen funcionar desfasados en la mitad de un semiciclo. Se utilizan dos compresores (uno de Roots o de desplazamiento positivo y otro centrífugo) y dos bombas de vacío o succión (una de Roots o de desplazamiento positivo y otra centrífuga), de manera que uno de los dos compresores está periódicamente en modo de movimiento libre o loco, o de venteo. Si bien el uso de dos soplantes relativamente pequeñas en lugar de una única soplante grande se ha divulgado en la Patente de los EE.UU. N° 5.656.068, no se ha preconizado ni utilizado el concepto de cancelación activa del ruido.

La Solicitud de Patente de los EE.UU. N° 11/395.140 (Registro de Representante N° D-21491) divulga otra solución que emplea un silenciador para reducir la magnitud del ruido hasta una magnitud de aproximadamente 90 dB en la descarga de la soplante de succión de las plantas de VPSA de oxígeno de grandes dimensiones. El silenciador comprende cámaras reactivas para atenuar las pulsaciones de baja frecuencia, así como cámaras de absorción para atenuar el ruido de medias a altas frecuencias. Las paredes exteriores e interiores del silenciador están hechas de hormigón. A diferencia de los silenciadores a base de semienvueltas de acero, el silenciador de hormigón no vibrará ni actuará como una fuente de ruido. El ruido de baja frecuencia se suprime o cancela mediante la expansión y la contracción del flujo en una serie de cámaras reactivas que tienen múltiples aberturas en las paredes divisorias. Las cámaras de absorción obligan a un flujo en serpentina, y sus paredes interiores están cubiertas, en su totalidad, por un material absorbente del sonido con el fin de suprimir eficazmente el ruido de altas frecuencias. Sin embargo, esta solución sigue necesitando el uso de una gran soplante fabricada por encargo o de múltiples soplantes para proporcionar un suministro suficiente de gas de alimentación.

Así, pues, continúa existiendo la necesidad de soluciones de bajo coste y fiables para evitar los daños de las pulsaciones y reducir las magnitudes o niveles de ruido, al tiempo que se proporciona un elevado flujo de gas al interior y al exterior de la planta, de una manera efectiva en cuanto a costes.

Sumario de la invención

La presente invención, según se define en la reivindicación 2, se refiere a un método para reducir o eliminar las pulsaciones o impulsos de presión y el ruido resultante creados por las soplantes de una planta de separación de gases basada en la adsorción. Más concretamente, la presente invención está encaminada a un método para cancelar las pulsaciones de presión originadas al hacer funcionar las soplantes de una planta de separación de gases, que comprende: (a) instalar dos soplantes idénticas, cada una de las cuales tiene un lado de toma y un lado de descarga; (b) conectar la primera soplante a un primer conducto y la segunda soplante a un segundo conducto; (c) colocar el primer conducto y el segundo conducto simétricamente; (d) hacer confluir el primer conducto con el segundo conducto en un único conducto de confluencia, y (e) sincronizar la primera soplante con la segunda soplante de tal manera que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida que están desfasadas 180° con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.

El método emplea dos soplantes idénticas, sincronizadas para generar pulsaciones de presión con un desfase de 180°. De esta forma, las soplantes proporcionan tanto un gran flujo de aire como una cancelación activa de las pulsaciones de presión. Las dos soplantes están fijadas a un árbol común, con un desplazamiento de fase de un modo tal, que los impulsos de presión creados por una de las soplantes serán cancelados de forma activa por los impulsos generados por la otra soplante. Al mismo tiempo, ambas soplantes trabajarán juntas para forzar una gran cantidad de gas a fluir al interior y al exterior de la planta. El conjunto gemelo de soplantes puede ser utilizado para aplicaciones de alimentación o de succión de la planta. De esta forma, los costes de capital de las plantas de separación de gases de grandes dimensiones pueden ser reducidos al suprimir la necesidad de un costoso silenciador y de una única soplante grande fabricada por encargo.

Los métodos de silenciamiento conocidos únicamente son efectivos en un cierto intervalo de frecuencias. En esta invención, unas soplantes gemelas cancelan las pulsaciones de presión a la frecuencia primaria o fundamental de cada soplante, en su fuente. Las pulsaciones de los armónicos superiores de la frecuencia fundamental pueden persistir y puede ser necesario cancelarlos utilizando un silenciador convencional. Sin embargo, las pulsaciones de presión a la frecuencia fundamental de la soplante tienen la energía más dañina y son más difíciles de atenuar, en comparación con los armónicos superiores de esta frecuencia. Desde este punto de vista, resulta más eficaz y económico eliminar las pulsaciones de baja frecuencia de la planta inmediatamente después de que sean generadas, utilizando el concepto de soplantes gemelas que se describe en la presente memoria, que tratar de cancelarlas o suprimirlas utilizando silenciadores, una vez que ya se han desarrollado dentro de las conducciones.

La presente invención, tal y como se define en la reivindicación 3, está también dirigida a un sistema de separación de gases basado en absorción, que comprende: (a) dos soplantes idénticas, cada una de las cuales tiene un lado de toma y un lado de descarga; (b) un primer conducto, conectado a la primera soplante, y un segundo conducto, conectado a la segunda soplante, de tal manera que el primer conducto y el segundo están colocados simétricamente; (c) un conducto de confluencia, en cuyo interior confluyen uno con otro el primer conducto y el segundo conducto; y (d) un mecanismo que sincroniza la primera soplante con la segunda soplante, de tal modo que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia pretendida o de objetivo que están

desfasadas 180° con las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.

5 La presente invención, tal y como se define en la reivindicación 1, está dirigida, de manera adicional, a un aparato para cancelar las pulsaciones de presión producidas en un sistema de separación de gases basado en la adsorción, de tal modo que dicho aparato, simultáneamente, bien proporciona gas de alimentación o bien evacua gas de producto, y comprende: (a) dos soplantes idénticas, cada una de las cuales tiene un lado de toma y un lado de descarga; (b) un primer conducto, conectado a la primera soplante, y un segundo conducto, conectado a la segunda soplante, de manera que el primer conducto y el segundo conducto están colocados simétricamente; (c) un conducto de confluencia, en cuyo interior confluyen uno con otro el primer conducto y el segundo conducto; y (d) un mecanismo que sincroniza la primera soplante con la segunda soplante, de tal modo que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida, que están desfasadas 180° con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.

Breve descripción de los dibujos

15 Para una comprensión más completa de la presente invención y de las ventajas de la misma, ha de hacerse referencia a la siguiente descripción detallada, tomada en combinación con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 es un esquema de la disposición de una planta de VPSA.

La Figura 2 es un esquema del sistema de soplantes gemelas y de la cancelación de las pulsaciones de presión.

20 La Figura 3 es una ilustración que muestra los campos de presiones dentro de las conducciones o tuberías de soplante.

La Figura 4 es una ilustración que muestra la cancelación de las pulsaciones de presión según se muestra en los resultados de simulación, en la que la geometría de las conducciones es simétrica y las pulsaciones de presión generadas están desfasadas 180°. No hay presentes pulsaciones en las conducciones después de haber hecho confluir los conductos de las soplantes.

25 La Figura 5 es una ilustración que muestra el hecho de que las pulsaciones de presión no se cancelan cuando las pulsaciones no están completamente desfasadas y la geometría de las conducciones es simétrica. Las pulsaciones están presentes en las conducciones después de haber hecho confluir los conductos de las soplantes.

30 La Figura 6 es una ilustración que muestra el hecho de que las pulsaciones en desfase no son canceladas cuando las conducciones son asimétricas. Las pulsaciones están presentes en las conducciones de salida, después de haber hecho confluir los conductos de salida de las soplantes.

La Figura 7 es una ilustración que muestra resultados de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD – “computational fluid dynamics”), que confirman que los flujos provenientes de cada soplante confluyen satisfactoriamente al interior de la conducción en confluencia para el flujo volumétrico dado.

35 La Figura 8 es una ilustración que muestra una configuración de tubería o conducción diferente (en forma de Y), que también resulta satisfactoria a la hora de cancelar las pulsaciones, y que muestra que no hay presentes pulsaciones en las conducciones después de haber hecho confluir los conductos de las soplantes.

La Figura 9 es una ilustración que muestra una soplante y un conducto de soplante convencionales.

La Figura 10 es un esquema de un sistema de soplantes gemelas.

Descripción detallada de la invención

40 La presente invención se refiere a un método para reducir o eliminar las pulsaciones o impulsos de presión y el ruido resultante generados por las soplantes de una planta de separación de gases. La expresión “pulsaciones de presión” puede ser utilizada de forma intercambiable con las expresiones o términos “impulsos de presión”, “pulsaciones de gas”, “impulsos de gas”, “pulsaciones” o “impulsos”. El término “conducto” puede ser utilizado de forma intercambiable con los términos “tubería” o “conducción”. El método se sirve de dos soplantes idénticas o gemelas sincronizadas para generar pulsaciones que están desfasadas 180°. Las soplantes gemelas proporcionan tanto un gran flujo de aire como la cancelación activa de las pulsaciones de presión a la frecuencia primaria o fundamental de las soplantes. En una realización, las dos soplantes están vinculadas o ligadas a un árbol común con un cierto desplazamiento de fase, de tal manera que los impulsos de presión creados por una de las soplantes serán activamente cancelados por los impulsos generados por la otra soplante. Al mismo tiempo, ambas soplantes trabajarán juntas para forzar el paso de una gran cantidad de flujo de gas al interior y al exterior de la planta. El conjunto gemelo de soplantes puede ser utilizado para alimentar aplicaciones de succión en la planta. De esta forma, los costes de capital de una planta de separación de gases pueden ser reducidos al eliminar la necesidad de uno o más silenciadores, caros, y de una única soplante de gran tamaño, fabricada por encargo.

La Figura 1 muestra la disposición de una planta de VPSA (1). En esta disposición de planta concreta, las soplantes gemelas son soplantes de alimentación, si bien el mismo concepto puede ser igualmente aplicado a soplantes de succión. Durante la etapa de alimentación, el gas de alimentación entra en la planta a través de un filtro de entrada (2) y de un silenciador de entrada (3). El gas de alimentación silenciado es suministrado a dos soplantes de alimentación (6, 7) a través de unos conductos de entrada de alimentación (4, 5). Cada soplante de alimentación descarga el gas de alimentación a su respectivo conducto (8, 9) y, tras ello, el flujo de confluencia (10) es enfriado en un enfriador posterior (11), antes de entrar en uno de los lechos adsorbentes (12, 13), donde uno o más componentes del gas son adsorbidos, siendo el componente de gas de producto remanente descargado a un tanque de referencia (14), por medio del cual es suministrado al cliente (15). Si bien uno de los lechos adsorbentes se hace pasar a través de la etapa de alimentación (adsorción), el otro lecho es regenerado con una etapa de succión (desorción), en el curso de la cual el gas rechazado es extraído por succión de los lechos de adsorción, a través de la soplante de succión (16), y silenciado en el silenciador de descarga de succión (17), antes de ser venteado al exterior (18), a la atmósfera. El concepto de ciclo y planta de adsorción por oscilación de presión de succión (VPSA –“vacuum pressure swing adsorption”) se describen en la Patente de los EE.UU. Nº 6.010.555 con mayor detalle. La Figura 1 ilustra una planta de dos lechos, pero la presente invención resulta también eficaz en plantas que tienen más de dos lechos.

A fin de reducir las pulsaciones indeseadas en la planta, esta invención se sirve de un conjunto gemelo de soplantes para cancelar activamente las pulsaciones de presión generadas por una de las soplantes, con las pulsaciones generadas por la otra soplante. La presente invención es aplicable a soplantes convencionales prefabricadas disponibles en el mercado de cualquier tamaño. La Figura 2 se centra en las soplantes de alimentación gemelas y en sus conducciones en la planta de VPSA. Los conductos (8, 9) de la primera soplante (6) y de la segunda soplante (7) se hacen confluir en un único conducto (10), y ambas soplantes trabajan conjuntamente para forzar el paso de grandes cantidades de gas al interior de la planta. En una realización, las soplantes son accionadas por el mismo motor eléctrico (20), en tanto que una de las soplantes está conectada directamente al árbol (21) del motor eléctrico, y la otra es accionada a través de una correa de temporización (22), fijada a este árbol. Una correa de temporización garantiza un desplazamiento de fase constante entre las soplantes, de tal manera que los impulsos generados procedentes de las soplantes son invertidos por completo (es decir, en un desfase de 180°). Otros métodos para crear un desplazamiento de fase constante incluyen mecanismos tales como ruedas de engranaje o cadenas, si bien no están limitados por estos. Un gas forzado por cada soplante fluye a través de sus respectivos conductos de salida (8, 9), de manera que se desarrollan ondas pulsantes de presión dentro de estos conductos. Las pulsaciones procedentes de cada soplante interfieren y, finalmente, se cancelan entre sí cuando dos conductos de salida de soplante confluyen (10). Este es el concepto subyacente de la cancelación de pulsaciones activa, y es aplicable a cualquier tamaño y velocidad de las soplantes. La Figura 2 ilustra las tuberías o conducciones del lado de descarga de las soplantes gemelas, si bien la presente invención está también dirigida a las conducciones del lado de toma de las soplantes. Los conductos situados en uno o en ambos del lado de toma y el lado de descarga de las soplantes pueden ser colocados simétricamente con el fin de conseguir una cancelación activa de las pulsaciones. En otras realizaciones, la primera soplante puede estar conectada indirectamente con la segunda soplante. Por ejemplo, cada soplante puede estar conectada directamente a un motor independiente, y los motores están ligados y regulados en el tiempo de tal manera que hacen rotar las soplantes con el desplazamiento de fase apropiado.

La presente invención está dirigida a un método para cancelar pulsaciones de presión procedentes de soplantes que funcionan en una planta de separación de gases, el cual comprende: (a) instalar dos soplantes idénticas, cada una de las cuales tiene un lado de toma y un lado de descarga; (b) conectar la primera soplante a un primer conducto y la segunda soplante a un segundo conducto; (c) colocar el primer conducto y el segundo conducto simétricamente; (d) hacer confluir el primer conducto con el segundo conducto, dentro de un único conducto de confluencia; y (e) sincronizar la primera soplante con la segunda soplante, de tal manera que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida, que están desfasadas 180 grados con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante. La presente invención contempla la cancelación de las pulsaciones de presión a una frecuencia de objetivo particular que puede seleccionarse basándose en la longitud de los primer y segundo conductos. Generalmente, la frecuencia de objetivo se encontrará en la frecuencia primaria o fundamental de las pulsaciones de presión generadas por las soplantes.

La presente invención está también dirigida a un sistema de separación de gases que comprende: (a) dos soplantes idénticas, cada una de las cuales tiene un lado de toma y un lado de descarga; (b) un primer conducto, conectado a la primera soplante, y un segundo conducto, conectado a la segunda soplante, de tal modo que el primer conducto y el segundo conducto están colocados simétricamente; (c) un conducto de confluencia, dentro del cual confluyen uno con otro el primer conducto y el segundo conducto; y (d) un mecanismo que sincroniza la primera soplante con la segunda soplante, de tal modo que la primera soplante genera pulsaciones o impulsos de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida, que están desfasadas 180° con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.

La presente invención está dirigida, de manera adicional, a un aparato para cancelar pulsaciones de presión producidas en un procedimiento de separación de gases, de tal modo que dicho aparato, simultáneamente, bien proporciona gas de alimentación o bien evacua gas de producto, y comprende: (a) dos soplantes idénticas, cada una de las cuales tiene un lado de toma y un lado de descarga; (b) un primer conducto, conectado a la primera soplante,

y un segundo conducto, conectado a la segunda soplante, de tal modo que el primer conducto y el segundo conducto están colocados simétricamente; (c) un conducto de confluencia, dentro del cual el primer conducto y el segundo conducto confluyen uno con otro; y (d) un mecanismo que sincroniza la primera soplante con la segunda soplante, de tal modo que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida, que están desfasadas 180° con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.

La Figura 9 ilustra una soplante convencional tal como la soplante 1 (6), en la que existe un lado de descarga que tiene una brida de descarga (33). Los impulsos son generados debido a la acción de unos lóbulos o álabes rotativos situados dentro de las soplantes, y se supone que las ondas asociadas comienzan desplazándose por la línea central de la soplante (32). La línea central (32) divide la soplante en partes iguales, con el lado de descarga situado a un lado de la línea central y el lado de toma situado al otro lado. La frecuencia de estos impulsos está directamente relacionada con la velocidad de revoluciones o rotativa del árbol de accionamiento de las soplantes y el número de lóbulos de las soplantes. La longitud de onda de estos impulsos es, simplemente, la relación de la velocidad del sonido con la frecuencia de las pulsaciones. A fin de evitar que se desarrollen resonancias acústicas en el circuito de tuberías o conducciones que conecta la soplante a otro equipo de la planta, las longitudes de las tuberías han de ser seleccionadas cuidadosamente mediante su comparación con la longitud de onda de las pulsaciones. Por ejemplo, para el caso de una única tubería que conecta la soplante a un silenciador, el extremo del lado de soplante de la tubería se trata como un extremo cerrado conforme los impulsos de presión comienzan a desplazarse por este extremo, y el extremo del lado del silenciador de la tubería se trata como un extremo abierto conforme la tubería desemboca en un volumen mucho mayor. Se desarrollan resonancias de cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$) entro de esta tubería con uno de sus extremos cerrado y el otro extremo abierto. Por esta razón, a fin de evitar resonancias acústicas en las conducciones, se requiere que la distancia desde la línea central de la soplante (es decir, donde las ondas comienzas a desplazarse) hasta el extremo abierto de la tubería de conexión no sea igual a ningún múltiplo entero de un cuarto de longitud de onda de una frecuencia de objetivo o pretendida o de sus armónicos superiores.

Haciendo referencia a la Figura 9, la distancia desde la línea central (32) de la soplante hasta la brida de descarga (33) se denomina longitud *A*. La longitud del conducto (34) desde la descarga (33) de la soplante hasta el extremo del conducto (35), esto es, tal como se muestra en la Figura 10, donde los dos conductos (8, 9) confluyen en un punto de confluencia (40), se denomina longitud *B*. Entonces, la longitud total de *A + B* se ha de seleccionar de un modo tal, que no favorezca el desarrollo de resonancias de cuarto de longitud de onda dentro de las conducciones. En otras palabras, *A + B* no debe ser igual a ningún múltiplo entero de un cuarto de longitud de onda de una frecuencia de objetivo o de sus armónicos superiores.

La longitud *A* varía dependiendo del tamaño de la soplante. Como ejemplo de ello, la longitud *A* es, aproximadamente, entre 22,86 cm y 25,40 cm (entre 9 y 10 pulgadas) para soplantes de pequeño tamaño unitario para ensayo, y llega hasta entre 88,90 cm y 99,06 cm (entre 35 y 39 pulgadas) para las soplantes comerciales de tamaños más grandes. Las soplantes de las plantas de VPSA funcionan, por lo común, a frecuencias comprendidas en el intervalo entre 40 Hz y 100 Hz, y las longitudes de onda correspondientes para este intervalo de frecuencias están comprendidas en el intervalo entre 304,8 cm y 914,4 cm (entre 10 y 30 pies). Puesto que la longitud *A* puede ser comparable con las longitudes de onda que se mencionan aquí, es crucial incluir esta longitud en la longitud de tubería en los cálculos, a fin de evitar las resonancias acústicas. La Figura 9 muestra el conducto de descarga (34) como una tubería recta, si bien el conducto de descarga (34) puede tener forma de L o estar dispuesto en ángulo para conformar una forma de Y con el conducto de descarga procedente de la segunda soplante, por ejemplo, los conductos de descarga (8, 9) que se muestran en las Figura 2, 3 y 10. La Figura 9 ilustra la soplante y las conducciones del lado de descarga de una soplante, si bien la presente invención está también dirigida a las conducciones del lado de toma de una soplante. En el caso de las conducciones del lado de toma, la medición de la longitud *A* será desde la línea central hasta la brida de toma, y la longitud *B* será la longitud de la tubería de toma.

Haciendo referencia a la Figura 10, la soplante 1 (6) está conectada a un conducto de descarga (8) y la soplante 2 (7) está conectada a un conducto de descarga (9). Estos dos conductos de descarga (8, 9) se conectan a una única tubería de confluencia (10), en el punto de confluencia (40). Cada uno de los conductos de descarga (8, 9) se extiende desde la descarga de la soplante hasta el punto de confluencia (40), y la tubería de confluencia (10) se extiende desde el punto de confluencia (40) hasta un enfriador posterior, para una configuración de soplante de alimentación, o hasta un silenciador, para un configuración de bomba de vacío o succión. La Figura 10 ilustra unos conductos en forma de "L" como ejemplo del hecho de que el conducto (34) de la Figura 9 no tiene por qué ser una tubería recta y puede haberse configurado como el conducto (8), y de que el extremo del conducto (35) es el punto de confluencia (40). La Figura 10 ilustra las conducciones del lado de descarga de las soplantes gemelas, pero la presente invención está también dirigida a las conducciones del lado de toma de las soplantes.

Es muy importante analizar el circuito de conducciones de las soplantes gemelas para utilizar esta tecnología con éxito. Deben identificarse los modos acústicos y frecuencias naturales de las conducciones para evitar que se desarrollen resonancias acústicas dentro del circuito de conducciones. En las proximidades de las frecuencias de resonancia, la amplitud de las pulsaciones se ve amplificada y la cancelación de las pulsaciones se hace menos efectiva. Además, dependiendo de la frecuencia, pueden establecerse diferentes formas de modo en los conductos (8, 9).

Existen dos formas de modo acústico diferenciadas que pueden desarrollarse dentro de los conductos (8, 9) para las soplantes dobles. Algunas de estas formas de modo presentan idénticos campos de presiones en ambos conductos, y se identifican en la presente memoria como “modos simétricos”. Por otra parte, existen otras formas de modo en las que el campo de presiones de uno de los conductos es completamente opuesto al campo de presiones del otro conducto, y estas se identifican en la presente memoria como “modos asimétricos”. Los modos simétricos y asimétricos se describen adicionalmente en lo que sigue.

A. Modos simétricos:

En los modos simétricos, las pulsaciones de presión en los dos conductos (8, 9) de soplante, hasta el punto de confluencia (40), son idénticas entre sí. A fin de determinar las frecuencias acústicas naturales, debe utilizarse en los cálculos la distancia desde la línea central (32) de la soplante hasta el extremo de descarga de la tubería de confluencia (10). Esta distancia ha de incluir la longitud *A* desde la línea central (32) de la soplante hasta la brida de descarga (33) de la soplante, más la longitud *B* desde la brida de descarga (33) de la soplante hasta el punto de confluencia (40), más la longitud de la tubería de confluencia (10). Si los conductos están situados en el lado de toma de la soplante, entonces la distancia deberá ser la distancia desde la línea central (32) de la soplante hasta la brida de toma de la soplante, más la longitud del conducto de toma, más la longitud de la tubería de toma de confluencia. Como los conductos (8, 9) son idénticos el uno al otro, puede utilizarse cualquiera de ellos en los cálculos. Como la soplante induce condiciones de contorno de extremo cerrado en el extremo de soplante del conducto (34), y la salida de la tubería de confluencia (10) tiene condiciones de contorno de extremo abierto, se desarrollan resonancias acústicas de cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$) dentro de la conducción. Las frecuencias naturales para los modos simétricos (f_{ns}) vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$f_{ns} = (2n - 1) \frac{c}{4L_b} \quad \text{donde } n = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{Ecuación 1})$$

L_b es la distancia desde la línea central de la soplante, a través del conducto de la soplante (ya sea el 8 o el 9), hasta el extremo de la tubería de confluencia (10), y *c* es la velocidad del sonido. A fin de evitar que se desarrollen resonancias acústicas en los conductos (8, 9) y en la tubería de confluencia (10), la distancia desde la línea central (32) de la soplante hasta el extremo de la tubería de confluencia (10) no debe ser igual a ningún múltiplo entero de un cuarto de longitud de onda de una frecuencia de objetivo o de sus armónicos superiores.

B. Modos asimétricos:

Para los modos asimétricos desarrollados dentro de las conducciones, las pulsaciones de presión en uno de los conductos (8) de soplante son completamente opuestas a las pulsaciones de presión en el otro conducto (9) de soplante. Además, existe una condición de presión nula en el punto de confluencia (40), y no hay presentes pulsaciones de presión en la tubería de confluencia (10), desde el punto de confluencia (40) hasta el extremo de la tubería de confluencia. Como no hay impulsos de presión dentro de la tubería de confluencia, únicamente deben analizarse las frecuencias y modos acústicos naturales de los conductos que conectan la soplante 1 (6) a la soplante 2 (7). Para determinar las frecuencias acústicas naturales, ha de utilizarse en los cálculos la distancia desde la línea central de una de las soplantes, a través del conducto de soplante a ella fijado, hasta el extremo del conducto. Por ejemplo, para la soplante 1 (6), esta distancia ha de ser la distancia desde la línea central (32) de la soplante hasta la brida de descarga (33) de la soplante, más la longitud del conducto (8) desde la brida de descarga (33) hasta el punto de confluencia (40). Si los conductos están situados en el lado de toma de la soplante, entonces la distancia debe ser la distancia desde la línea central (32) de la soplante hasta la brida de toma de la soplante, más la longitud del conducto de toma.

Como las soplantes inducen condiciones de contorno de extremo cerrado y están presentes condiciones de contorno de extremo abierto en el punto de confluencia (40), se desarrollan resonancias acústicas de cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$) dentro de los conductos de descarga. Las frecuencias naturales para modos asimétricos (f_{na}) vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$f_{na} = (2n - 1) \frac{c}{4L_t} \quad \text{donde } n = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{Ecuación 2})$$

L_t es la distancia desde la línea central de la soplante 1 (6), a través del primer conducto (8), hasta el punto de confluencia (40), y *c* es la velocidad del sonido. A fin de evitar que se desarrollen resonancias acústicas dentro de los conductos que conectan una de las soplantes a la otra, la distancia desde la línea central de la soplante 1 (6), a través del conducto (8), hasta el punto de confluencia (40) no debe ser igual a ningún múltiplo entero de un cuarto de longitud de onda de una frecuencia de objetivo o pretendida o de sus armónicos superiores.

Ejemplo 1: Análisis teórico

5 Los campos de presiones en los conductos de salida (8, 9) de las soplantes se han identificado como se muestra en la Figura 3. El análisis demostró que, si la geometría de las conducciones de salida es simétrica y las ondas están completamente desfasadas, los impulsos de presión en la conducción de salida de confluencia (10) se ven completamente reducidos. En el análisis, el origen $x = y = 0$ (siendo x el eje horizontal que mide la pata o rama horizontal del conducto de salida de cada soplante, y siendo y el eje perpendicular que mide la longitud del conducto de salida de confluencia) está situado donde los dos conductos de salida (8, 9) se encuentran, y la distancia desde el giro o codo de 90° hasta el origen se ha establecido en L a cada lado.

El análisis es como sigue:

10 Las pulsaciones de presión dentro del conducto de salida (8) de la primera soplante (6) son debidas a los impulsos generados por la primera soplante. El campo de presiones en este conducto tiene dos componentes, a saber, la presión incidente P_{i1} y su reflexión P_{r1} , de manera que estas componentes de presión se definen como:

$$P_{i1} = A_1 \cdot e^{iky} \quad y \quad P_{r1} = B_1 \cdot e^{-iky} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde A_1 y B_1 son las amplitudes de las pulsaciones de presión y k es el número de onda, que se define como:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = 2\pi \frac{f}{c} \quad (\text{Ecuación 4})$$

15 donde c es la velocidad de las ondas, y λ y f son, respectivamente, la longitud de onda y la frecuencia de las pulsaciones.

Similarmente, las presiones incidente y reflejada del conducto de salida (9) de la segunda soplante (7) se definen como:

$$P_{i2} = A_2 \cdot e^{iky} \quad y \quad P_{r2} = B_2 \cdot e^{-iky} \quad (\text{Ecuación 5})$$

20 donde A_2 y B_2 son las amplitudes de las pulsaciones de presión.

La porción transmitida de las ondas de presión incidentes después del giro de 90° , en los conductos de salida (8, 9) de cada lado, puede expresarse como:

$$P_{t1} = C_1 \cdot e^{ik(x+L)} \quad y \quad P_{t2} = C_2 \cdot e^{-ik(x-L)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

donde C_1 y C_2 son las amplitudes de las pulsaciones de presión.

25 Utilizando las Ecuaciones 3, 4 y 5, las presiones en ambos puntos de giro o codos de los conductos de salida se expresa como:

$$\text{en } x = -L \text{ e } y = 0, \quad P_{i1} + P_{r1} = P_{t1} + P_{t2} \Rightarrow A_1 + B_1 = C_1 + C_2 \cdot e^{2ikL}$$

(Ecuación 7)

$$\text{en } x = L \text{ e } y = 0, \quad P_{i2} + P_{r2} = P_{t2} + P_{t1} \Rightarrow A_2 + B_2 = C_2 + C_1 \cdot e^{2ikL}$$

30 (Ecuación 8)

También, utilizando la Ecuación 5, la presión en la tubería horizontal puede expresarse como:

$$P = P_{i1} + P_{i2} = C_1 \cdot e^{ik(x+L)} + C_2 \cdot e^{-ik(x-L)} \quad (\text{Ecuación 9})$$

En $x = 0$ e $y = 0$, donde los dos conductos de salida confluyen, la Ecuación 6 se reduce a:

$$P = (C_1 + C_2) \cdot e^{ikL} \quad (\text{Ecuación 10})$$

35 Combinando las Ecuaciones 6 y 7 y, a continuación, factorizando los términos comunes, se obtendrá:

$$C_1 + C_2 = \frac{A_1 + B_1 + A_2 + B_2}{1 + e^{2ikL}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Puesto que las ondas están completamente desfasadas, se tiene:

$$A_1 = -A_2 \text{ y } B_1 = -B_2 \quad (\text{Ecuación 12})$$

5 Si la Ecuación 12 se introduce en la Ecuación 11, $C_1 + C_2$ se reduce a cero, y entonces la ecuación de la presión (Ecuación 8) también se hace cero en el punto en que los dos conductos se hacen confluir. En consecuencia, la presión en la conducción de salida de confluencia (10), P_f , será igual a cero en todo momento. Esto es debido a que las dimensiones de tubería en cada rama son idénticas y a que las pulsaciones de presión dentro de los conductos (8, 9) están desfasadas 180°.

Ejemplo 2: Validación

10 Se llevó a cabo un análisis por elementos finitos del conducto de salida de la tubería de soplante, utilizando el código comercial ANSYS 5.7 de elementos finitos. Como se ha mostrado en la Figura 3, únicamente se realizan modelos de las conducciones de salida que van de las dos soplantes a la entrada de un enfriador posterior. Se investigan los campos de presiones dentro de los conductos de salida por lo que respecta a diversas geometrías y frecuencias de pulsación desde 10 Hz hasta 500 Hz. Las longitudes de onda correspondientes de este abanico de frecuencias se encuentran comprendidas en el intervalo entre 60,96 cm y 38,10 m (entre 2 pies y 125 pies) para los intervalos de temperatura de interés, es decir, de 21,11°C a 148,88°C (de 70°F a 300°F) y a la velocidad de las ondas en el aire. Es también importante notar que, en una planta de VPSA convencional, la frecuencia de pulsación está comprendida, de la forma más probable, en el intervalo entre 40 Hz y 100 Hz, si bien puede ser tan alta como 250 Hz. Desde este punto de vista, las frecuencias de pulsación convencionales caen fácilmente dentro del intervalo de frecuencias utilizado en las simulaciones. En el modelo, el efecto de la soplante se introduce como límite o contorno de presión, y la forma del perfil de presión se supone que es sinusoidal. Además, debido a la naturaleza asimétrica de la geometría de la tubería, únicamente se desarrolló un modelo bidimensional con el fin de ahorrar tiempo y esfuerzo de computación.

25 En las simulaciones, las conducciones de salida de las soplantes eran de 30,48 cm (12 pulgadas) de diámetro, estaban conformadas en forma de “L” (es decir, presentaban un doblez o codo de 90°) y tenían 152,4 cm (5 pies) de longitud a cada lado de la “L”, antes de confluir una con otra. En las simulaciones, se ensayaron diferentes longitudes de conducto para la conexión de conducción desde la descarga de soplante hasta el punto donde confluyen ambas tuberías. Se observó que no hay ningún efecto de la longitud de tubería en los niveles o magnitudes de pulsación de la tubería de confluencia final, ya que las pulsaciones eran siempre canceladas una por otra después de haber hecho confluir las tuberías, siempre y cuando los conductos fueran simétricos y las pulsaciones de presión estuvieran desfasadas 180°. Similarmente, simulaciones llevadas a cabo con frecuencias de excitación diferentes (es decir, longitudes de onda diferentes) dieron lugar a ondas que se cancelaban en la tubería de confluencia cuando se satisfacían las condiciones anteriormente referidas. Sin embargo, el grado o magnitud de las pulsaciones dentro de los conductos, antes de hacerse confluir, depende de la longitud de la tubería y de la frecuencia de excitación. A fin de evitar que se desarrollen impulsos de presión excesivos en los conductos, las longitudes de las tuberías deben ser cuidadosamente seleccionadas para que la frecuencia de las pulsaciones de presión no coincida con la resonancia acústica de la tubería y ponga la tubería en resonancia. La longitud de los conductos no debe ser igual a ningún múltiplo entero de cuarto de longitud de onda para la frecuencia de pulsación primaria o sus armónicos superiores, a fin de evitar que se desarrollen resonancias de cuarto de longitud de onda dentro de los conductos antes de que las ondas interfieran entre sí.

40 Conforme los conductos confluyen uno con otro, los impulsos generados por la primera soplante interfieren con los impulsos generados por la segunda soplante, y, finalmente, los impulsos se cancelan entre sí si se satisfacen las condiciones de simetría y de presiones desfasadas 180°, tal y como se ha mostrado en la Figura 4. La cancelación de pulsaciones de presión con pulsaciones de presión procedentes de otra fuente constituye un medio satisfactorio para reducir tales pulsaciones, particularmente a frecuencias bajas. Es importante mantener la simetría de las conducciones, de tal manera que, cuando las pulsaciones procedentes de la primera soplante interfieran con las pulsaciones procedentes de la segunda soplante, los dos conjuntos de pulsaciones estén completamente desfasados (es decir, a 180°) y se cancelen por completo uno con otro. Si los impulsos de presión no están completamente desfasados, como se muestra en la Figura 5, o si la configuración de las conducciones no es totalmente simétrica, como se muestra en la Figura 6, las simulaciones muestran que las simulaciones de presión no se cancelan en el conducto de confluencia. Por estas razones, el factor clave para la cancelación efectiva de las pulsaciones es tener una unidad simétrica en todo, en la que las soplantes y las conducciones han de ser idénticas en dimensiones, geometría y propiedades de los materiales.

Ejemplo 3: Características del flujo

55 Es también importante investigar las características del flujo de los conductos de salida, puesto que la mecánica del flujo es completamente diferente de la mecánica de las ondas en las conducciones. El hecho de dirigir las ondas opuestas una hacia la otra puede, efectivamente, cancelarlas, pero, desde el punto de vista de la mecánica de fluidos, dirigir dos flujos rectos uno hacia el otro puede dar como resultado la formación de remolinos y una caída de presión o pérdida de carga más alta en las conducciones. Por esta razón, se llevó a cabo una simulación computacional de dinámica de fluidos del circuito de tuberías utilizando programación o software comercial de

dinámica de fluidos computacional ANSYS/CFX. En este modelo, se utilizan la misma longitud y el mismo diámetro de tubería que en el modelo y simulaciones de ondas. Se supuso que cada soplante proporcionaba un caudal de flujo extremadamente alto de 31,99 kg/s (40.000 scfm) de aire para una tubería de 30,48 cm (12 pulgadas) de diámetro. El caudal de flujo se seleccionó intencionadamente de manera que fuese alto, para investigar el campo de flujo bajo flujos muy elevados. La Figura 7 ilustra la mezcla efectiva y homogénea del flujo procedente de los dos conductos, sin que se forme un vórtice o remolino en estos casos de flujo extremo; por lo tanto, no deberá haber problemas de flujo para estas velocidades o cualesquiera más bajas.

La invención descrita en esta memoria se ha explicado en el contexto de soplantes de alimentación. Sin embargo, el concepto de soplantes gemelas es igualmente aplicable en aplicaciones de succión. De hecho, resulta más crucial utilizar soplantes gemelas en una aplicación de succión, puesto que la mayor cantidad de gas por unidad de tiempo es desplazada durante la etapa de succión. La necesidad de una soplante más grande y del silenciamiento de los impulsos correspondientemente más altos se ve amplificada durante la etapa de succión.

Los compresores rotativos de desplazamiento positivo pueden dividirse en los siguientes grupos: (a) lóbulo o álabe recto, incluyendo de 2 lóbulos y de 3 lóbulos; (b) compresores de tornillo (helicoidales), incluyendo 3+4 y 4+6; (c) compresores de vano deslizante, incluyendo de 6, 8 o 10 vanos, o en los que pueden utilizarse incluso números más altos. La presente invención puede funcionar con cualquier tipo de soplante y con cualquier número de lóbulos de la soplante, siempre y cuando las dos soplantes tengan el mismo número de lóbulos. El hecho de tener la misma geometría interna y el mismo número de lóbulos en cada una de las soplantes gemelas garantizará que los impulsos generados por la primera soplante serán idénticos a los impulsos generados por la segunda soplante. Para el caso de soplantes de dos lóbulos, por su geométrica, existen cuatro embolsamientos o volúmenes de trabajo en la soplante. En una rotación completa de 360° del árbol de accionamiento, son descargados cuatro embolsamientos por la soplante y, por tanto, se generan cuatro impulsos de presión para una sola rotación completa del árbol de accionamiento. En consecuencia, las pulsaciones de presión se completan en un ciclo completo para cada giro de 90° del árbol de accionamiento. Por esta razón, a fin de generar pulsaciones completamente en desfase, las soplantes de dos lóbulos deben estar desfasadas 45°. Similarmente, en el caso de soplantes de tres lóbulos, existen seis embolsamientos en la soplante. En una rotación completa del árbol de accionamiento se descargan seis embolsamientos por parte de la soplante y, por tanto, se generan seis impulsos de presión por una sola rotación completa del árbol de accionamiento. En consecuencia, las pulsaciones de presión cierran un ciclo completo en cada giro de 60° del árbol de accionamiento. Por esta razón, a fin de generar pulsaciones de presión completamente desfasadas, las soplantes han de ser accionadas con un desfase de 30° para cancelar las pulsaciones. Como ejemplo de ello, para una velocidad de motor típica de 900 rpm de una planta de VPSA, la frecuencia de la rotación del árbol de accionamiento es 15 Hz (900 rpm). Una soplante de dos lóbulos genera pulsaciones a cuatro veces la frecuencia del árbol de accionamiento, y una soplante de tres lóbulos genera pulsaciones a seis veces la frecuencia del árbol de accionamiento. De esta forma, una soplante de dos lóbulos que funciona a 900 rpm generará pulsaciones de presión a una frecuencia fundamental de 60 Hz, y una soplante de tres lóbulos que funciona a 900 rpm generará pulsaciones de presión a una frecuencia fundamental de 90 Hz.

Se ensayaron diferentes configuraciones de tubería con el fin de observar el efecto de la configuración de la tubería en las interferencias de las ondas. En vez de las conducciones en forma de L preferidas, se ensayaron conducciones rectas procedentes de las soplantes y que formaban una configuración en Y una vez que conflúan, las cuales arrojaron resultados satisfactorios, como se muestra en la Figura 8. Se observa que, siempre y cuando las conducciones sean simétricas, cualquier geometría de las conducciones funcionará para conseguir la cancelación de las ondas.

Las pulsaciones de presión comienzan a desarrollarse en el punto de descarga de cada soplante, y únicamente se cancelan una vez que las pulsaciones procedentes de ambas soplantes interfieren unas con otras. Por esta razón, puede ser necesario el uso de un resonador de Helmholtz para evitar que se desarrollen las pulsaciones de presión en el conducto de cada soplante, antes de que los conductos se hagan confluir en el punto de unión. Las pulsaciones son particularmente amplificadas cuando una de las frecuencias de resonancia acústica de las conducciones coincide con la frecuencia de la soplante o con sus armónicos. Los resonadores de Helmholtz resultan muy eficaces a la hora de cancelar los impulsos de presión a ciertas frecuencias. El emplazamiento de uno o más de tales resonadores en la salida de cada soplante, antes de la confluencia de las dos tuberías, eliminará cualesquiera pulsaciones a frecuencias específicas antes de que se desarrollen en estas tuberías, a fin de reducir las pulsaciones de presión adicionalmente. Estos uno o más resonadores pueden también colocarse en el lado de toma de cada soplante. Es muy importante colocar estos resonadores simétricamente, de tal manera que no se retraigan de la cancelación activa de los impulsos de presión a la frecuencia fundamental generada por las soplantes.

Desde un punto de vista técnico, la manera más efectiva de cancelar las pulsaciones y el ruido de la planta consiste en atenuar las pulsaciones en su fuente de origen. La presente invención se sirve del concepto de cancelación activa de pulsaciones haciendo interferir ondas de una misma amplitud y desfasadas 180° inmediatamente después de ser generadas. La cancelación activa de pulsaciones proporcionada por soplantes gemelas elimina las pulsaciones de baja frecuencia más dañinas a la frecuencia fundamental de las soplantes. Desde este punto de vista, la cancelación activa de pulsaciones es siempre preferible sobre los silenciadores de reacción y/o de absorción, ya que estos no son tan efectivos a la hora de atenuar las pulsaciones de baja frecuencia. Por otra parte,

la eliminación de las pulsaciones justo después de ser descargadas desde las soplantes significa menos tensiones en las conducciones y equipos de la planta y más fiabilidad de estos.

5 En otra realización de la invención, los conductos colocados en el lado de toma de las soplantes son también simétricos y confluyen en un único conducto de confluencia, y pueden ser utilizados en combinación con resonadores de Helmholtz y/o silenciadores.

Soplantes más pequeñas crean impulsos con menores amplitudes, en comparación con los impulsos generados por una soplante mucho más grande, ya que la amplitud de los impulsos está directamente relacionada con el tamaño de la soplante. Desde este punto de vista, el uso de soplantes gemelas genera pulsaciones más pequeñas y estas son, por lo tanto, un problema menor que el de una única soplante de gran tamaño.

10 Una planta de VPSA convencional está equipada con silenciadores de entrada de soplante de alimentación y de descarga de soplante de succión, a fin de eliminar el ruido y las pulsaciones indeseadas en la planta. A medida que el tamaño de la planta se hace más grande, el tamaño y el coste de tal silenciador aumenta también. En ocasiones, se emplea un resonador de Helmholtz además del silenciador, ya que el silenciador es, de por sí, insuficiente para atenuar la alta magnitud de las pulsaciones de la soplante. Esta invención elimina la necesidad de silenciadores
15 grandes y costosos. Los procedimientos de separación de gases que utilizan uno o más lechos pueden hacer uso de esta invención ya sea para suministrar gas de alimentación a los lechos, ya sea para evacuar los lechos.

20 Las elevadas pulsaciones de gas son también una preocupación importante para la fiabilidad de los equipos en las plantas de separación de gases. En el pasado, muchos fallos fueron debidos a las pulsaciones de gas generadas por las soplantes. Un conjunto gemelo de soplantes eliminará las potencialmente dañinas pulsaciones altas de gas y, como resultado de ello, aumentará la fiabilidad de la planta.

25 Esta invención también elimina la necesidad de grandes y costosas soplantes fabricadas por encargo. El concepto de soplantes gemelas hace uso de dos soplantes relativamente pequeñas y comercialmente disponibles para proporcionar un gran flujo de aire al interior de la planta. La alternativa prohibitivamente cara a esta solución es construir por encargo una soplante que produzca el doble del flujo de cada soplante pequeña. Además de ser caras, semejantes soplantes de grandes dimensiones producen pulsaciones muy elevadas, y silenciar tales pulsaciones se convierte en una tarea costosa y difícil.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un aparato para cancelar pulsaciones de presión producidas dentro de un sistema de separación de gases basado en adsorción (1), de tal manera que dicho aparato, simultáneamente, bien proporciona gas de alimentación o bien evacua gas de producto, y comprende:
- 5 a) dos soplantes idénticas (6, 7), cada una de las cuales tiene una brida de toma, un lado de toma, un lado de descarga, una brida de descarga, y una línea central entre el lado de toma y el lado de descarga;
- b) un primer conducto (8), conectado a la primera soplante (6) bien en la brida de descarga o bien en la brida de toma, y un segundo conducto (9), conectado a la segunda soplante (7), bien en la brida de descarga o bien en la brida de toma, de tal manera que el primer conducto (8) y el segundo conducto (9) son simétricos y tienen idénticas dimensiones y geometría, y están colocados simétricamente;
- 10 c) un conducto de confluencia (10), dentro del cual confluyen uno con otro el primer conducto (8) y el segundo conducto (9) en un punto de confluencia; y
- d) un mecanismo (22) que sincroniza la primera soplante (6) con la segunda soplante (7), de tal manera que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida, que están desfasadas 180° con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.
- 15 2.- Un método para cancelar las pulsaciones de presión originadas al hacer funcionar las soplantes de una planta de separación de gases basada en la adsorción (1), que comprende:
- a) instalar dos soplantes idénticas (6, 7), cada una de las cuales tiene una brida de toma, un lado de toma, un lado de descarga, una brida de descarga y una línea central entre el lado de toma y el lado de descarga;
- 20 b) conectar la primera soplante (6) a un primer conducto (8), bien en la brida de descarga o bien en la brida de toma, y la segunda soplante (7) a un segundo conducto (9), bien en la brida de descarga o bien en la brida de toma, de tal manera que el primer y el segundo conductos son simétricos y tienen idénticas dimensiones y geometría;
- c) colocar el primer conducto (8) y el segundo conducto (9) simétricamente;
- 25 d) hacer confluir el primer conducto (8) con el segundo conducto (9) en un punto de confluencia, dentro de un único conducto de confluencia (10); y
- e) sincronizar la primera soplante (6) con la segunda soplante (7) de tal manera que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida que están desfasadas 180° con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.
- 30 3.- Un sistema de separación de gases basado en la adsorción (1), que comprende:
- a) dos soplantes idénticas (6, 7), cada una de las cuales tienen una brida de toma, un lado de toma, un lado de descarga, una brida de descarga y una línea central entre el lado de toma y el lado de descarga;
- b) un primer conducto (8), conectado a la primera soplante (6), bien en la brida de descarga o bien en la brida de toma, y un segundo conducto (9), conectado a la segunda soplante (7), bien en la brida de descarga o bien en la brida de toma, de tal manera que el primer conducto (8) y el segundo conducto (9) son simétricos y tienen idénticas dimensiones y geometría, y están situados simétricamente;
- 35 c) un conducto de confluencia (10), dentro del cual confluyen uno con otro, en un punto de confluencia, el primer conducto (8) y el segundo conducto (9); y
- d) un mecanismo (22) que sincroniza la primera soplante (6) con la segunda soplante (7), de tal manera que la primera soplante genera pulsaciones de presión a una cierta frecuencia de objetivo o pretendida que están desfasadas 180° con respecto a las pulsaciones de presión a esa misma frecuencia de objetivo, generadas por la segunda soplante.
- 40 4.- Cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en la que la frecuencia de objetivo es la frecuencia fundamental de las pulsaciones de presión generadas por las soplantes.
- 45 5.- Cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en la que el total de la longitud de la primera soplante (6) desde su línea central hasta su brida de descarga, más la longitud del primer conducto (9) desde la brida de descarga hasta el punto de confluencia, no es igual a ningún múltiplo entero de un cuarto de longitud de onda de una frecuencia de objetivo o de sus armónicos superiores.
- 50 6.- Cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en la que el total de la longitud de la primera soplante (6) desde su línea central hasta su brida de descarga, más la longitud del primer conducto (8) desde la brida de descarga hasta el

punto de confluencia, más la longitud del conducto de confluencia (10), no es igual a ningún múltiplo entero de un cuarto de longitud de onda de una frecuencia de objetivo o de sus armónicos superiores.

7.- Cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la frecuencia de objetivo está comprendida en el intervalo entre 40 Hz y 250 Hz.

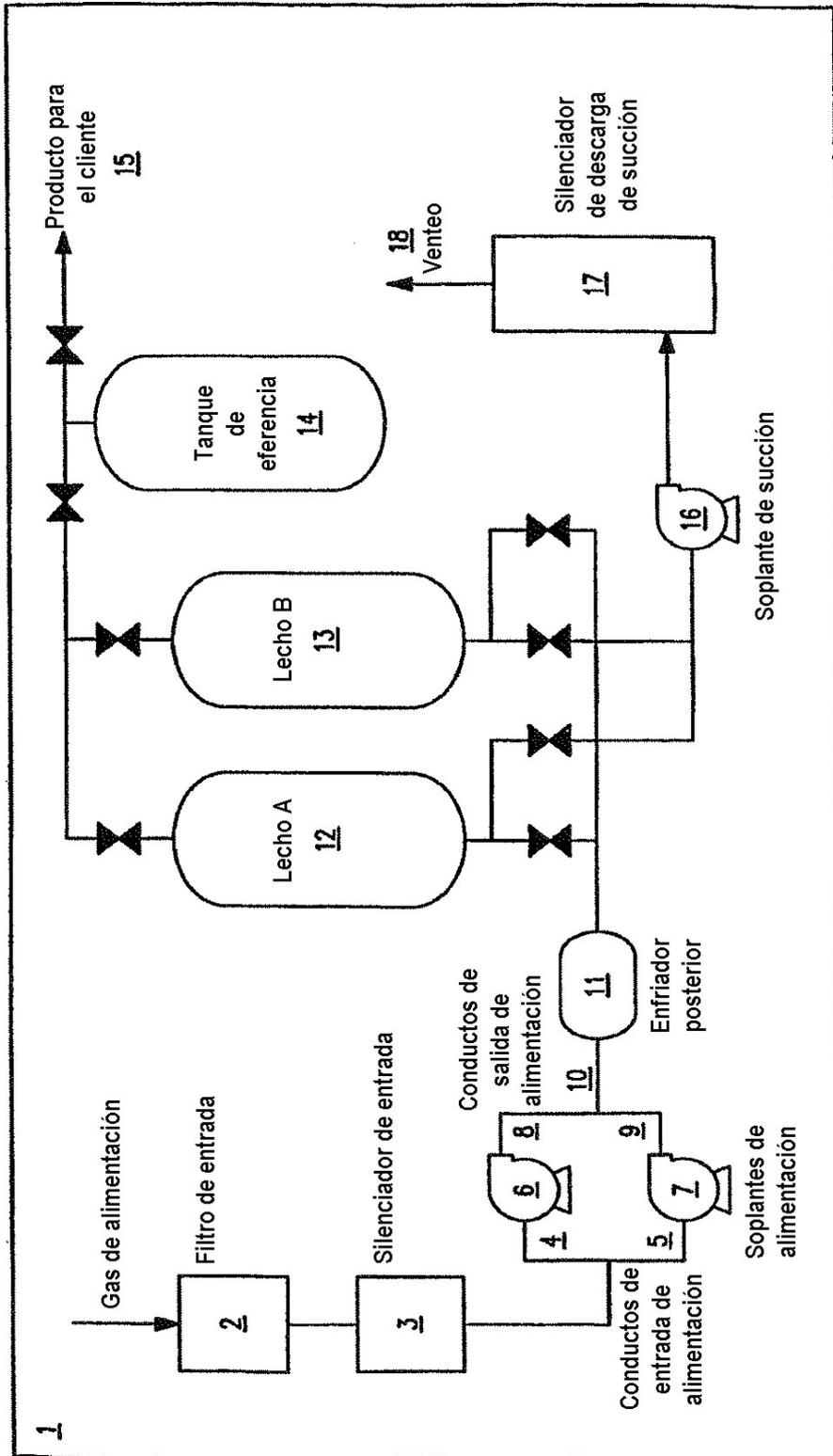


FIG. 1

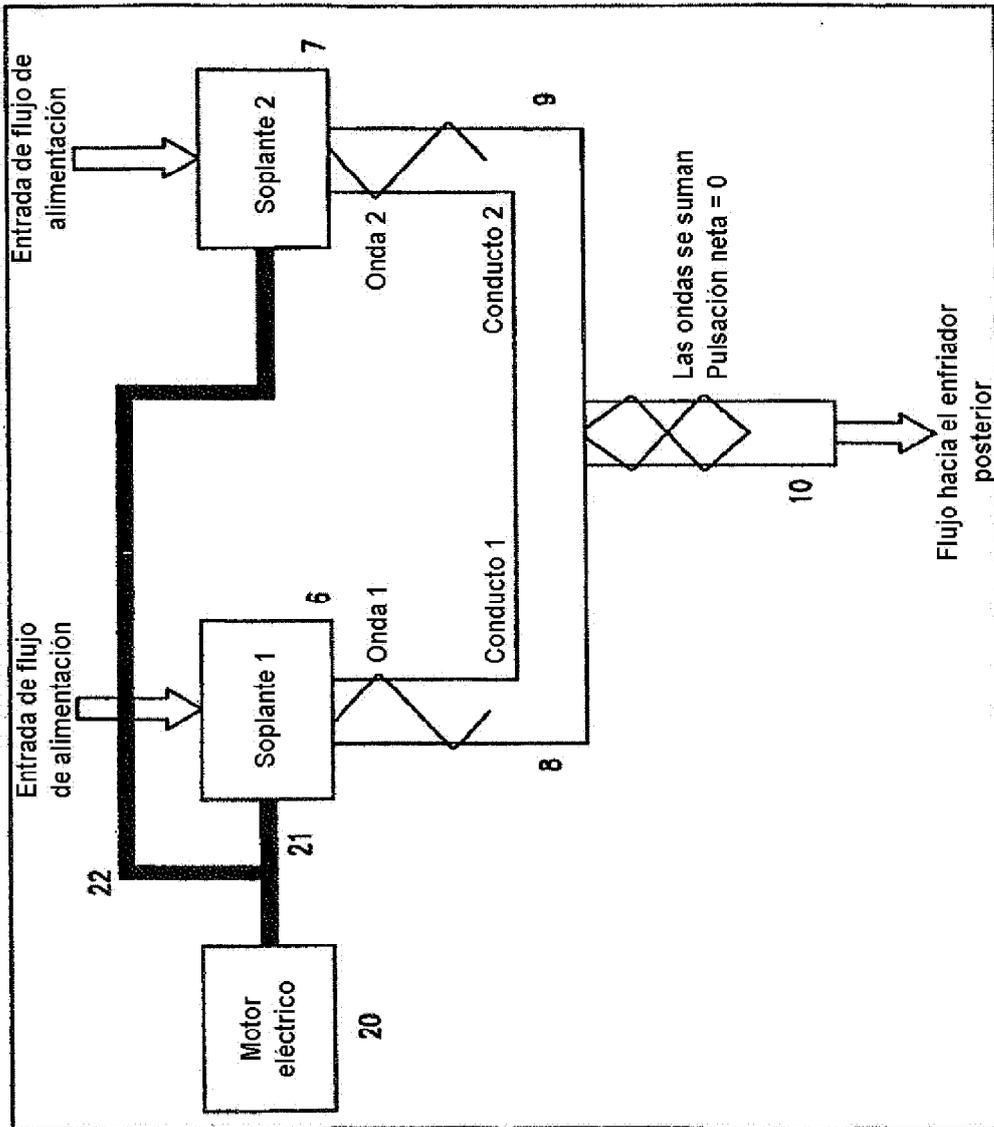


FIG. 2

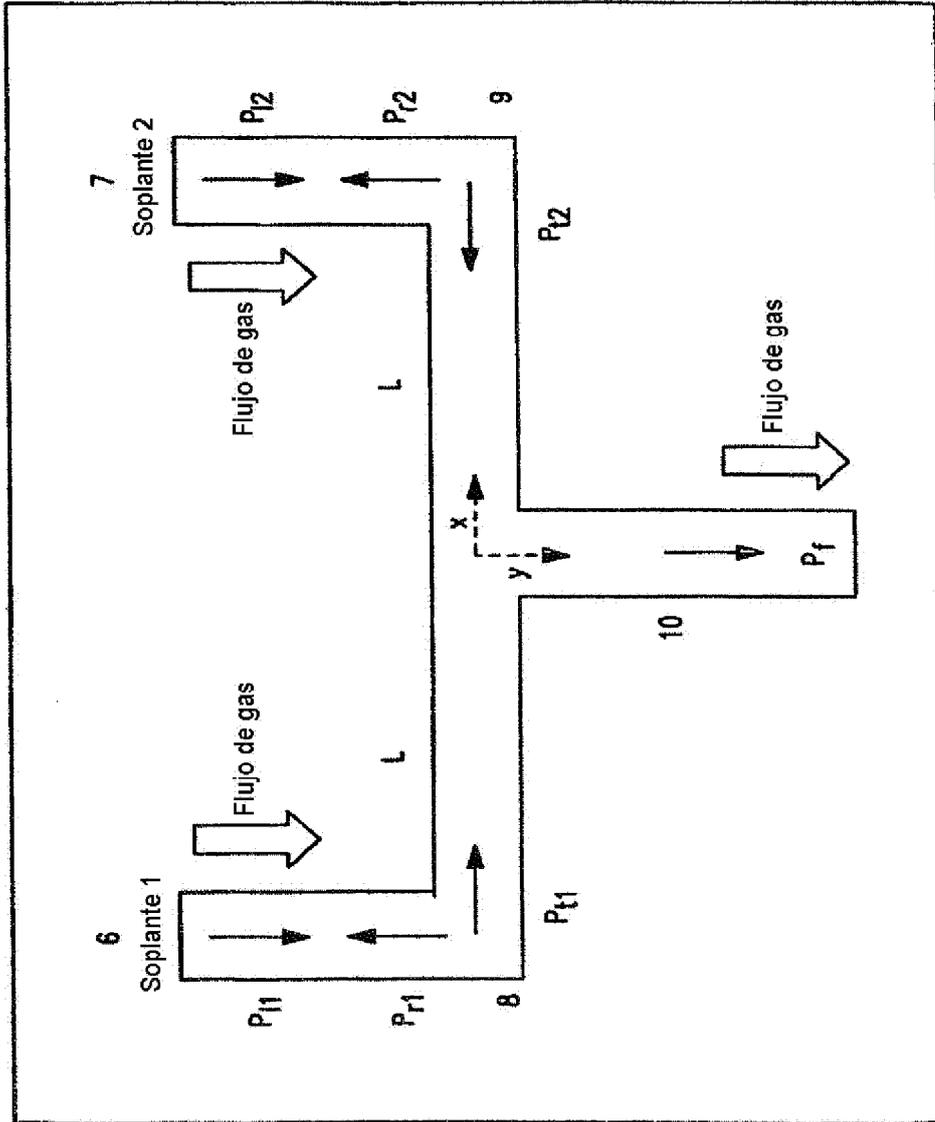


FIG. 3

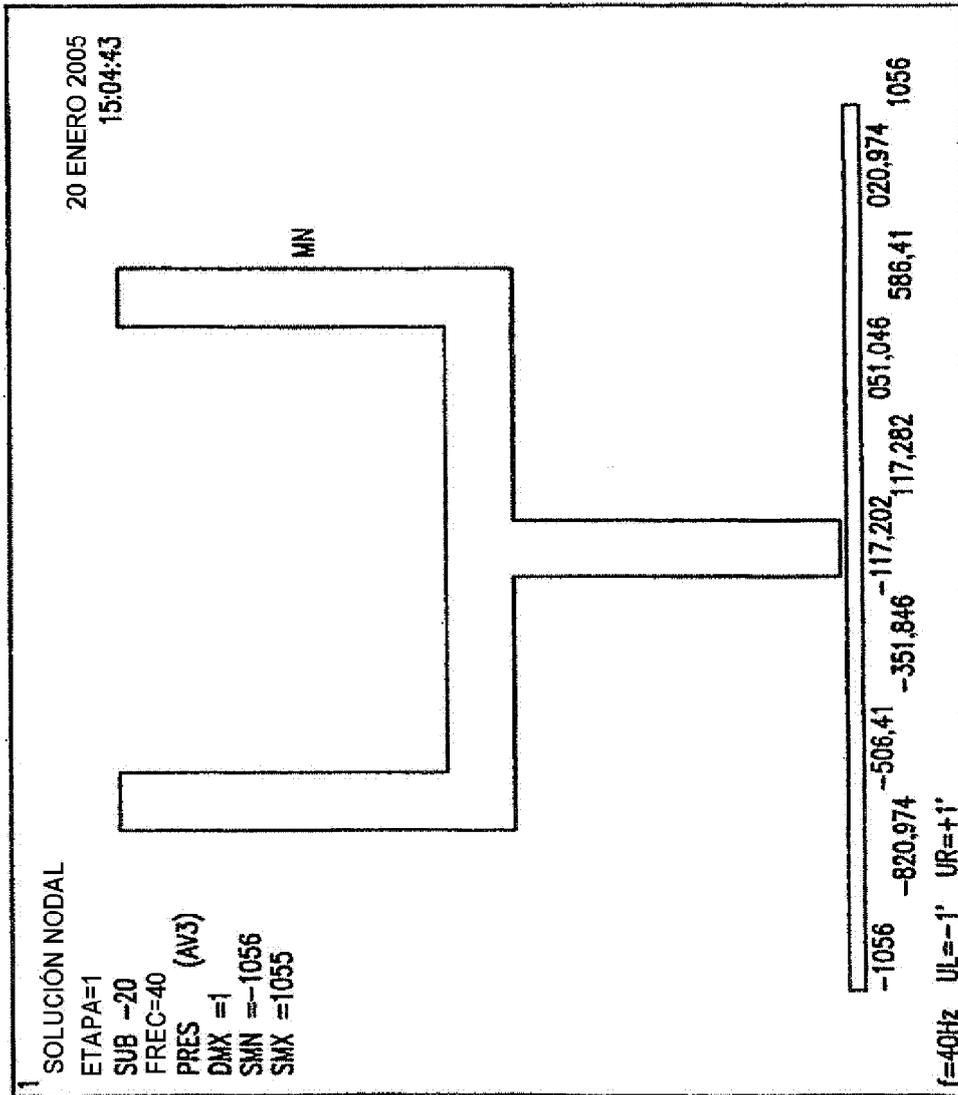


FIG. 4

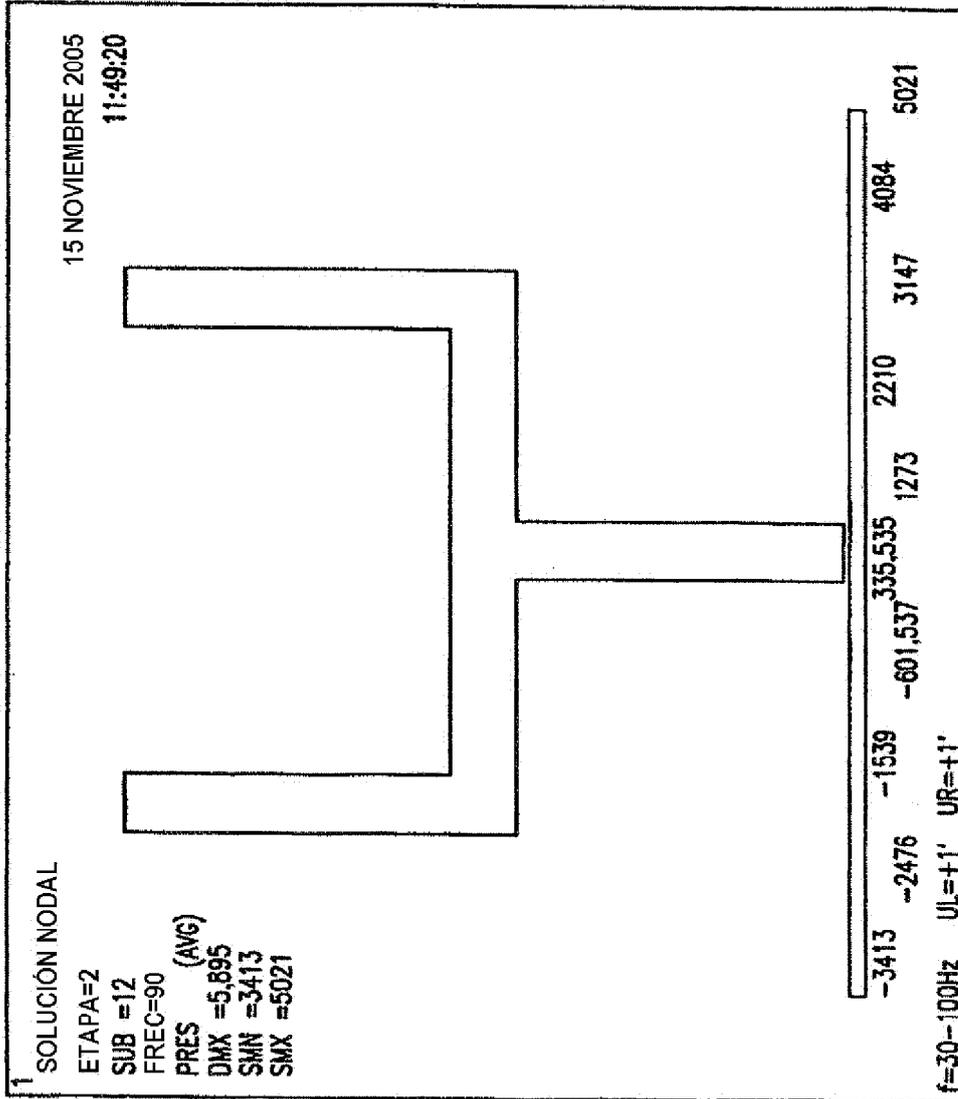


FIG. 5

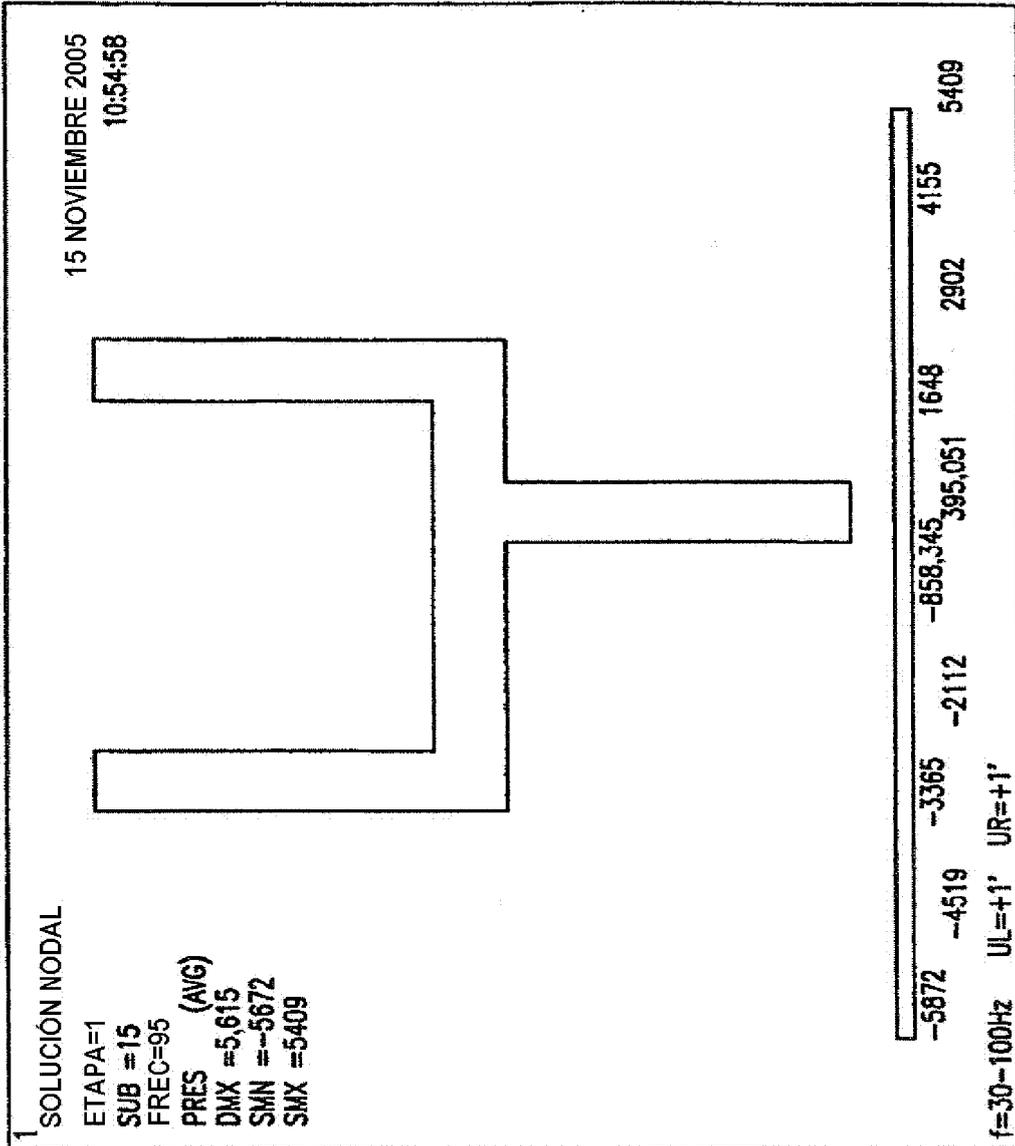


FIG. 6

Entrada gemela, cada 40.000 ACFM = 31,99 kg/s de aire en 30,48 cm de DI

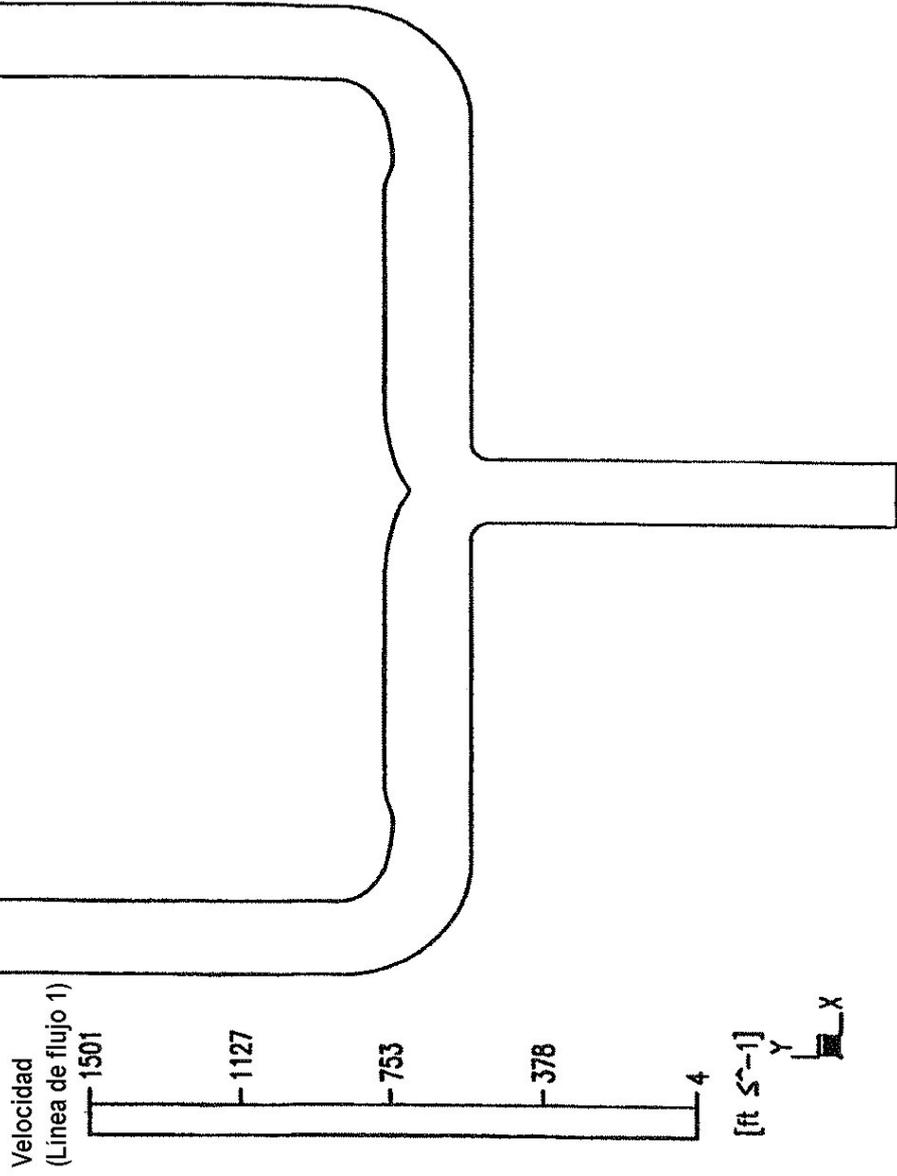


FIG. 7

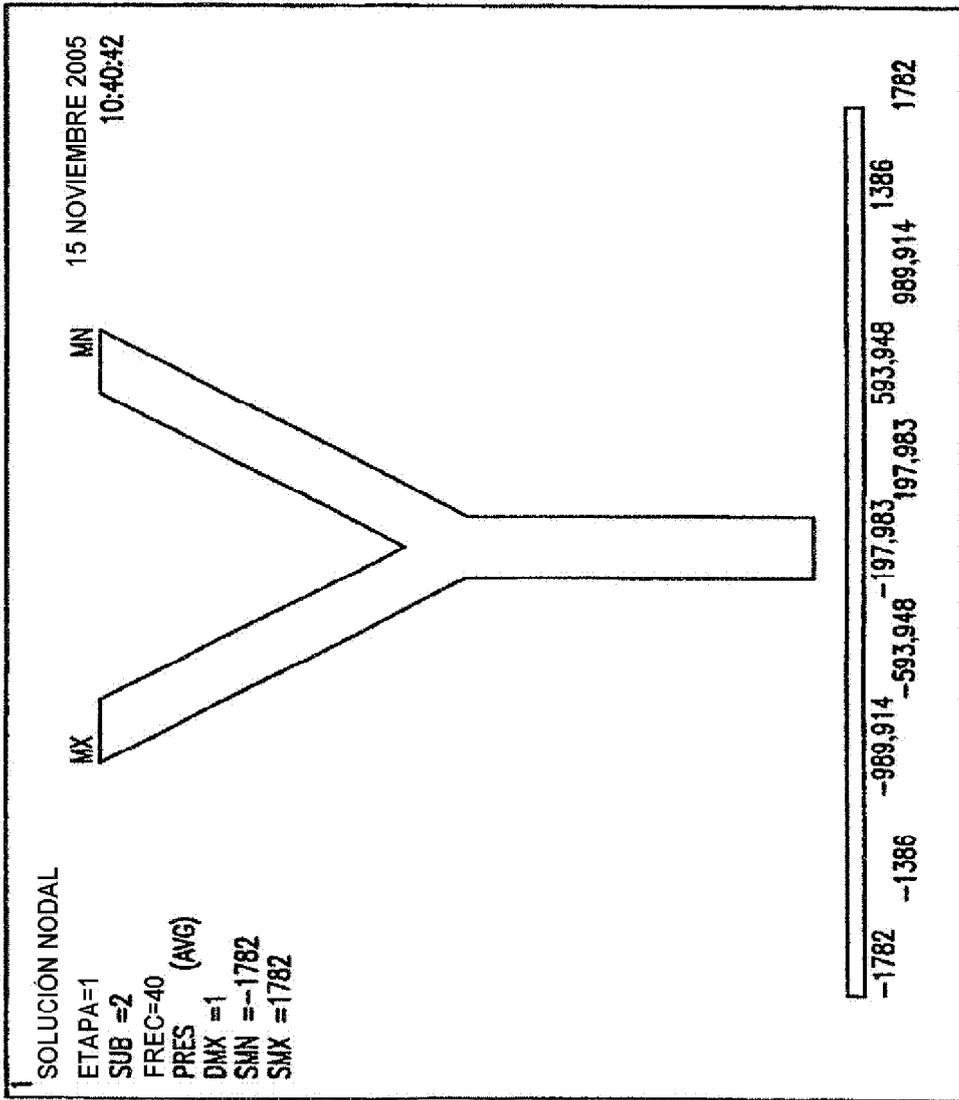


FIG. 8

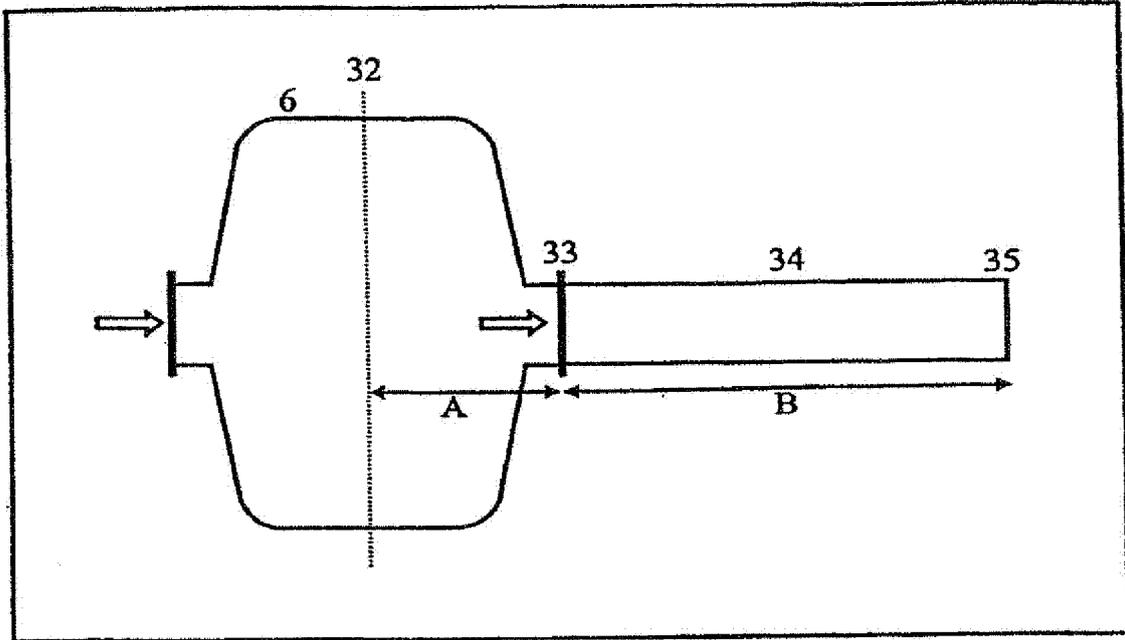


FIGURA 9

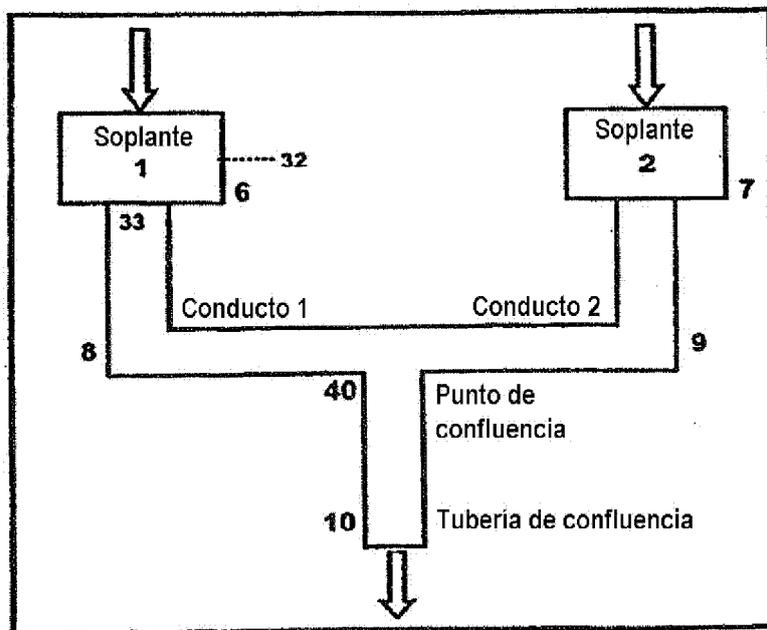


FIGURA 10