



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0713070-8 B1



(22) Data do Depósito: 26/06/2007

(45) Data de Concessão: 02/04/2019

(54) Título: APARELHO E MÉTODO PARA ANULAR PULSAÇÕES DE PRESSÃO, E, SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE GÁS BASEADO EM ADSORÇÃO

(51) Int.Cl.: F04D 25/16; F04D 29/66.

(30) Prioridade Unionista: 29/09/2006 US 11/540221; 30/06/2006 US 11/477908.

(73) Titular(es): PRAXAIR TECHNOLOGY, INC.

(72) Inventor(es): CEM E. CELIK; JAMES SMOLAREK.

(86) Pedido PCT: PCT US2007014819 de 26/06/2007

(87) Publicação PCT: WO 2008/005239 de 10/01/2008

(85) Data do Início da Fase Nacional: 29/12/2008

(57) Resumo: APARELHO E MÉTODO PARA ANULAR PULSAÇÕES DE PRESSÃO, E, SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE GÁS. A presente invenção é relativa a um método para redução ou eliminação de pulsações de pressão e ruído criadas por sopradores em uma instalação de separação de gás. O método emprega dois sopradores idênticos defasados de 180° sincronizados juntos para fornecer ao mesmo tempo um grande escoamento de ar e anulação de ruído ativo para eliminar pulsações de pressão. Os dois sopradores são sincronizados de tal maneira que pulsos de pressão criados por um soprador serão anulados de forma ativa pelos pulsos gerados pelo outro soprador. Ao mesmo tempo, ambos os sopradores irão trabalhar juntos para forçar uma grande quantidade de escoamento de ar para dentro ou para fora da instalação. O conjunto gêmeo de sopradores pode ser utilizado para aplicações de alimentação ou de um vácuo na instalação. Desta maneira, custos de capital de uma instalação de grande tonelage podem ser reduzidos eliminando a necessidade por um silenciador caro e um único soprador grande feito sob medida.

“APARELHO E MÉTODO PARA ANULAR PULSAÇÕES DE PRESSÃO,
E, SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE GÁS BASEADO EM ADSORÇÃO”

Pedidos Relacionados

5 Este Pedido é uma continuação em parte da U.S. de Número de Série 11/477.908, depositada em 30 de junho de 2006.

Campo Técnico

A presente invenção é relativa a anulação de pulsações de pressão e consequentemente de ruído induzido durante a operação de sopradores do tipo utilizado em sistemas de separação de gás.

10 Fundamento da Invenção

Processos de separação de gás não criogênicos, especialmente de processos de adsorção, são utilizados para separar diversos componentes de uma mistura gasosa, por exemplo, oxigênio de ar. Processos de adsorção por oscilação de pressão (PSA) que incluem processos superatmosféricos por adsorção/dessorção, adsorção por oscilação de vácuo subatmosférico (VSA) e processos de adsorção por oscilação de pressão de vácuo transatmosférico (VPSA) foram utilizados por décadas para separação de ar e são bem conhecidos na técnica. Processos PSA, VSA e VPSA convencionais empregam sopradores de deslocamento positivo para qualquer alimentação de fluido para, ou exaustão a partir, do vaso adsorvente. Instalações de separação de gás de grande tonelagem que incluem instalações VPSA requerem escoamento elevado de gás para dentro e para fora de leitos de adsorção. Sopradores de prateleira disponíveis comercialmente não podem fornecer o escoamento de ar requerido para a instalação, e sopradores feitos sob medida nesta faixa de dimensão se tornam proibitivamente caros. Em adição, sopradores maiores geram na instalação pulsos de pressão mais elevados, que poderiam danificar o equipamento e conduzir a níveis de ruído mais elevados.

Em instalações VPSA sopradores deslocam uma grande quantidade de gás desde o lado de entrada ou admissão até o lado de saída ou

lado de descarga, em volume relativamente constante através de bolsos entre os lobos de cada soprador e carcaça. O escoamento de gás para dentro e para fora de um soprador não é constante, ao invés disto, ele é uma ação discreta. Devido a diferenças de pressão entre os bolsos de gás e a tubulação, a cada vez que as pontas do rotor se liberam da carcaça provocam flutuações de pressão. Tais flutuações criam pulsações de pressão. Estas pulsações são uma função do tamanho e velocidade do soprador. Dentro da tubulação e equipamentos da instalação, estas pulsações se manifestam como vibrações que agitam a tubulação e equipamentos da instalação e podem resultar em dano severo. No ar ambiente, estas pulsações se manifestam como ruído do que pode ser extremamente alto. Uma vez que a demanda para produção mais elevada a partir destas instalações aumenta o tamanho da instalação, o tamanho dos sopradores na instalação aumenta. Contudo, tamanhos de sopradores maiores e velocidades de rotação mais altas criam pulsações mais elevadas, o que poderia ser negativo para equipamento da instalação tal como pós-resfriadores, leitos e tubos, e podem também gerar níveis de ruído mais elevados. Genericamente, a maior parte das pulsações danosas são geradas em baixa frequência. A frequência primária das pulsações geradas pelos sopradores é a frequência a mais baixa no espectro de frequência, o que torna extremamente desafiador anular estas pulsações.

Para minimizar o impacto das pulsações, instalações de separação de gás podem utilizar silenciadores de entrada e/ou descarga do soprador. Contudo, tais silenciadores se tornam proibitivamente caros para instalações maiores, e diminuem o rendimento da instalação induzindo queda de pressão no escoamento. Embora estes silenciadores possam reduzir as pulsações e ruído, não obstante o problema de pulsação está ainda presente e precisa ser eliminado por algum outro meio.

Tentativas precedentes para solucionar o problema de pulsação e ruído incluem a instalação de um amortecedor de pulsação do tipo

Helmholtz, também conhecido como um ressonador Helmholtz (Patente U.S. 5.957.664), silenciadores de descarga de casca metálica cilíndrica (Patentes U.S. 5.957.664 e 5.658.371), e silenciadores de concreto do tipo subterrâneo (Patente U.S. 6.451.097). Em particular, silenciadores do tipo de casca

5 metálica cilíndrica são amplamente utilizados na indústria, porém eles não são muito efetivos para utilização com pulsações de grande amplitude e baixa frequência. Para melhorar sua efetividade foi sugerido que silenciadores do tipo de casca metálica cilíndrica fossem utilizados em conjunto com um ressonador Helmholtz (Patente U.S. 5.957.664). Contudo, estes ressonadores

10 são apenas efetivos na anulação de pulsações em certas frequências. Estes métodos de silenciamento são baseados em princípios de anulação de som de reação e de absorção. A dificuldade máxima em projetar uma grande instalação de separação de gás é que ela requer uma vazão muito mais elevada, que pode apenas ser alcançada seja utilizando um soprador único

15 muito maior do que comercialmente disponível, ou dois sopradores de prateleira de maneira simultânea. A Patente U.S. 5.656.068 divulga um processo VPSA de quatro leitos operado como dois pares de sistemas de dois leitos, referido como ciclo/sistema 2x2 para produzir oxigênio a partir de ar. Cada par de leitos é operado defasado de 180° e os dois pares de leitos são

20 operados defasados por metade de um meio ciclo. Dois compressores (um Roots ou de deslocamento positivo e um centrífugo) e duas bombas de vácuo (uma Roots ou de deslocamento positivo e uma centrífuga) são utilizados, e um dos dois compressores está periodicamente em modo vazio ou de descarga. Embora a utilização dos dois sopradores relativamente pequenos ao

25 invés de um grande soprador tenha sido divulgada na Patente U.S. 5.656.068, o conceito de anulação de ruído ativo não é ensinado ou utilizado.

O Pedido de Patente U.S. 11/395.140 (documento de advogado número D-21.491) divulgou uma outra abordagem que emprega um silenciador para reduzir o nível de ruído para cerca de nível de 90 dB na

descarga do soprador de vácuo em instalações VPSA de oxigênio de grande tonelagem. O silenciador compreende câmaras de reação para atenuar pulsações de baixa frequência e câmaras de absorção para atenuar ruído de frequência média a elevada. Paredes externas e interiores do silenciador são feitas de concreto. Diferentemente de silenciadores de casca de aço o silenciador de concreto não irá vibrar ou atuar como uma fonte de ruído. O ruído de baixa frequência é anulado expandindo e contraindo escoamento em série de câmaras de reação que têm diversas aberturas nas paredes divisórias. As câmaras de absorção reforçam um escoamento em serpentina e todas as suas paredes interiores são cobertas com material absorvente de som para anular ruído de maneira efetiva em altas frequências. Contudo, esta abordagem ainda requer a utilização de um soprador grande feito sob medida, ou diversos sopradores para fornecer uma alimentação suficiente de gás de alimentação.

Assim, existe uma necessidade continuada para soluções confiáveis e de baixo custo para impedir dano de pulsação e reduzir níveis de ruído, ao mesmo tempo em que fornecem escoamento elevado de gás para dentro e para fora da instalação em uma maneira efetiva em custo.

Sumário da Invenção

A presente invenção é relativa a um método de reduzir ou eliminar pulsações de pressão e ruído resultante criado por sopradores em uma instalação de separação de gás. Mais especificamente, a presente invenção é direcionada para um método para anular pulsações de pressão a partir de sopradores em operação em uma instalação de separação de gás que compreende: (a) instalar dois sopradores idênticos, cada um tendo um lado de admissão e um lado de descarga; (b) conectar o primeiro soprador a um primeiro conduto e o segundo soprador a um segundo conduto; (c) posicionar o primeiro conduto e o segundo conduto de maneira simétrica; (d) unir o primeiro conduto com o segundo conduto para um único conduto unido; e (e)

sincronizar o primeiro soprador com o segundo soprador, no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão em uma frequência alvejada, as quais são defasadas de 180° com as pulsações de pressão na mesma frequência alvejada gerada pelo segundo soprador.

5 O método emprega dois sopradores idênticos sincronizados para gerar pulsações de pressão defasadas de 180° . Desta maneira os sopradores fornecem ambos um grande escoamento de ar e a anulação ativa de pulsações de pressão. Os dois sopradores são ligados a um eixo comum com um deslocamento de fase, de tal maneira que pulsos de pressão criados
10 por um soprador serão anulados de maneira ativa pelos pulsos gerados pelo outro soprador. Ao mesmo tempo, ambos os sopradores irão trabalhar juntos para forçar uma grande quantidade de escoamento de gás para dentro ou para fora da instalação. O conjunto gêmeo de sopradores pode ser utilizado para aplicações de alimentação ou de vácuo na instalação. Desta maneira, custos
15 de capital de instalações de separação de gás de grande tonelagem podem ser reduzidos, eliminando a necessidade por um silenciador caro e um único soprador grande feito sob medida.

Os métodos de silenciamento conhecidos são apenas efetivos em uma certa faixa de frequência. Nesta invenção sopradores gêmeos anulam
20 as pulsações de pressão na frequência primária de cada soprador em sua fonte. Pulsações em harmônicos mais elevados de frequência primária podem persistir e podem precisar ser anulados utilizando um silenciador convencional. Contudo, pulsações de pressão em frequência primária do soprador têm a energia a mais danosa e são mais difíceis de atenuar quando
25 comparados a harmônicos mais elevados desta frequência. Deste ponto de vista, é mais eficiente e econômico eliminar as pulsações de baixa frequência na instalação imediatamente depois delas serem geradas, utilizando o conceito de soprador gêmeo descrito aqui, do que tentar anulá-las utilizando silenciadores depois que elas já se desenvolveram na tubulação.

A presente invenção é também direcionada para um sistema de separação de gás que compreende: (a) dois sopradores idênticos, cada um tendo um lado de admissão e um lado de descarga; (b) um primeiro conduto conectado ao primeiro soprador e um segundo conduto conectado ao segundo soprador, onde o primeiro conduto e o segundo conduto são posicionados de maneira simétrica; (c) um conduto unido para o qual o primeiro conduto e o segundo conduto se unem juntos; e (d) um mecanismo que sincroniza o primeiro soprador com o segundo soprador, no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão a uma frequência alvejada, as quais são defasadas de 180° com as pulsações de pressão na mesma frequência alvejada gerada pelo segundo soprador.

A presente invenção é ainda direcionada para um aparelho para anular pulsações de pressão produzidas em um processo de separação de gás no qual tal aparelho simultaneamente ou fornece gás de alimentação ou evacua gás produto, que compreende: (a) dois sopradores idênticos, cada um tendo um lado de admissão e um lado de descarga; (b) um primeiro conduto conectado ao primeiro soprador e um segundo conduto conectado ao segundo soprador e o primeiro conduto e o segundo conduto são posicionados de maneira simétrica; (c) um conduto unido, para o interior do qual o primeiro conduto e o segundo conduto se unem juntos; (d) um mecanismo que sincroniza o primeiro soprador com o segundo soprador, no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão a uma frequência alvejada, as quais são defasadas de 180° com as pulsações de pressão na mesma frequência alvejada gerada pelo segundo soprador.

Breve Descrição dos Desenhos

Para um entendimento mais completo da presente invenção e de suas vantagens, deveria ser feita referência à descrição detalhada que segue, tomada em conjunto com os desenhos que acompanham, nos quais:

A figura 1 é um esquema do desenho de uma instalação

VPSA.

A figura 2 é um esquema do sistema de sopradores gêmeis e anulação de pulsações de pressão.

A figura 3 é uma ilustração que mostra campos de pressão na tubulação do soprador.

A figura 4 é uma ilustração que mostra a anulação de pulsações de pressão como mostrado nos resultados de simulação onde a geometria de tubulação é simétrica, e as pulsações de pressão geradas são defasadas de 180° . Nenhuma pulsação está presente na tubulação depois que os condutos do soprador são unidos.

A figura 5 é uma ilustração que mostra que as pulsações de pressão não são anuladas quando as pulsações não estão completamente defasadas e a geometria da tubulação é simétrica. Pulsações estão presentes na tubulação depois que os condutos do soprador são unidos.

A figura 6 é uma ilustração que mostra que pulsações defasadas não são anuladas quando a tubulação é assimétrica. Pulsações estão presentes na tubulação de saída depois que os condutos de saída do soprador são unidos.

A figura 7 é uma ilustração que mostra resultados de simulação computacional de dinâmica de fluido (CFD) que confirmam escoamentos que vêm de cada soprador se unindo com sucesso para a tubulação unida para o escoamento volumétrico fornecido.

A figura 8 é uma ilustração que mostra uma configuração de tubo diferente (conformado em Y), que também tem sucesso na anulação de pulsações e que mostra que nenhuma pulsação está presente na tubulação depois que os condutos de soprador são unidos.

A figura 9 é uma ilustração que mostra um soprador típico e um conduto de soprador.

A figura 10 é um esquema de um sistema de sopradores

gêmeos.

Descrição Detalhada da Invenção

A presente invenção é relativa a um método de reduzir ou eliminar pulsações de pressão e o ruído resultante gerado por sopradores em uma instalação de separação de gás. O termo “pulsações de pressão” pode ser utilizado de maneira intercambiável com os termos “pulsos de pressão”, “pulsações de gás”, “pulsos de gás”, “pulsações” ou “pulsos”. O termo “conduto” pode ser utilizado de maneira intercambiável com os termos “tubo” ou “tubulação”. O método emprega dois sopradores idênticos, ou gêmeos, sincronizados para gerar pulsações que são defasadas de 180°. Sopradores gêmeos fornecem ao mesmo tempo um grande escoamento de ar e anulação ativa de pulsações de pressão na frequência primária dos sopradores. Em uma configuração os dois sopradores são amarrados a um eixo comum com um deslocamento de fase, de tal maneira que pulsos de pressão criados por um soprador serão anulados de maneira ativa pelos pulsos gerados pelo outro soprador. Ao mesmo tempo, ambos os sopradores irão trabalhar juntos para forçar uma grande quantidade de escoamento de gás para dentro ou para fora da instalação. O conjunto gêmeo de sopradores pode ser utilizado para aplicações de alimentação ou de vácuo na instalação. Desta maneira, custos de capital de uma instalação de separação de gás podem ser reduzidos eliminando a necessidade por um ou mais silenciadores caros e um único soprador grande feito sob medida.

A figura 1 mostra o desenho de uma instalação VPSA 1. Neste desenho de instalação particular, os sopradores gêmeos são sopradores de alimentação, porém, o mesmo conceito pode igualmente ser aplicado a sopradores de vácuo. Durante a etapa de alimentação, gás de alimentação penetra na instalação através do filtro de admissão 2 e silenciador de entrada 3. Gás de alimentação silenciado é fornecido para dois sopradores de alimentação 6, 7 através de condutos de entrada de alimentação 4, 5. Cada

soprador de alimentação descarrega o gás de alimentação para seu respectivo conduto 8, 9 depois do que o escoamento unido 10 é resfriado em um pós-resfriador 11 antes de penetrar em um dos leitos adsorventes 12, 13 onde um ou mais componentes do gás é adsorvido e o componentes gás produto restante é descarregado para um tanque de oscilação hidráulica 14 através do qual é distribuído para o cliente 15. Enquanto um dos leitos adsorventes 13 está passando pela etapa de alimentação (adsorção) o outro leito é regenerado com uma etapa de vácuo (dessorção) durante a qual gás rejeitado é evacuado dos leitos de adsorção através do soprador de vácuo 16 e silenciado no silenciador de descarga de vácuo 17 antes de descarregar 18 para a atmosfera. O conceito de ciclo de adsorção por oscilação de pressão de vácuo (VPSA) e instalação estão descritos na Patente U.S. 6.010.555 em mais detalhe. A figura 1 ilustra uma instalação de dois leitos, porém, a presente invenção é também efetiva em instalações que têm mais do que dois leitos.

Para reduzir pulsações não desejadas na instalação, esta invenção utiliza um conjunto gêmeo de sopradores para anular de maneira ativa pulsações de pressão geradas por um soprador com pulsações geradas pelo outro soprador. A presente invenção é aplicável a sopradores de prateleira convencionais de qualquer dimensão. A figura 2 focaliza sopradores gêmeos de alimentação e sua tubulação na instalação VPSA. Condutos 8, 9 do primeiro soprador 6 e do segundo soprador 7 são unidos para um único conduto 10 e ambos os sopradores trabalham juntos para forçar grandes quantidades de gás para o interior da instalação. Em uma configuração, sopradores são atuados pelo mesmo motor elétrico 20 enquanto um dos sopradores é conectado diretamente ao eixo 21 do motor elétrico e o outro é atuado através de uma correia de sincronização 22 presa a este eixo. Uma correia de sincronização assegura um deslocamento de fase constante entre os sopradores de tal maneira que pulsos gerados a partir dos sopradores são completamente invertidos, isto é, defasados de 180°. Outros métodos de criar

um deslocamento de fase constante incluem, porém não estão limitados a, mecanismos tais como engrenagens ou correntes. Uma vez que gás forçado por cada soprador escoar através de seus respectivos condutos de saída 8, 9 ondas de pulsação de pressão se desenvolvem nestes condutos. As pulsações a partir de cada soprador interferem e anulam eventualmente uma a outra quando dois condutos de saída de soprador se unem.

Este é o conceito subjacente da anulação de pulsação ativa, e é aplicável a qualquer tamanho e velocidade de soprador. A figura 2 ilustra a tubulação no lado de descarga dos sopradores gêmeos, porém, a presente invenção é também direcionada para a tubulação no lado de admissão dos sopradores. Os condutos em qualquer ou em ambos os lados de admissão e descarga dos sopradores podem ser colocados de maneira simétrica para alcançar a anulação de pulsação ativa. Em outras configurações o primeiro soprador pode ser conectado de maneira indireta ao segundo soprador. Por exemplo, cada soprador pode ser conectado diretamente a um motor separado e os motores são articulados e sincronizados para girar os sopradores no deslocamento de fase apropriado.

A presente invenção é direcionada a um método para anular pulsações de pressão a partir de operar sopradores em uma instalação de separação de gás que compreende: (a) instalar dois sopradores idênticos, cada um tendo um lado de admissão e um lado de descarga; (b) conectar o primeiro soprador a um primeiro conduto e o segundo soprador a um segundo conduto; (c) posicionar o primeiro conduto e o segundo conduto de maneira simétrica; (d) unir o primeiro conduto com o segundo conduto em um único conduto unido; e sincronizar o primeiro soprador com o segundo soprador, no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão em uma frequência alvejada as quais estão 180° defasadas com as pulsações de pressão na mesma frequência alvejada gerada pelo segundo soprador. A presente invenção considera anular pulsações de pressão em uma frequência alvejada particular que pode ser

selecionada com base no comprimento dos primeiro e segundo condutos. Genericamente a frequência alvejada estará na frequência primária das pulsações de pressão geradas pelos sopradores.

5 A presente invenção é também direcionada para um sistema de separação de gás que compreende: (a) dois sopradores idênticos, cada um tendo um lado de admissão e um lado de descarga; (b) um primeiro conduto conectado ao primeiro soprador e um segundo conduto conectado ao segundo soprador, onde o primeiro conduto e o segundo conduto são posicionados de maneira simétrica; (c) um conduto unido para o interior do qual o primeiro
10 conduto e o segundo conduto se unem juntos; e (d) um mecanismo que sincroniza o primeiro soprador com o segundo soprador, no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão em uma frequência alvejada, as quais são deslocadas 180° em fase com as pulsações de pressão na mesma frequência alvejada gerada pelo segundo soprador.

15 A presente invenção é ainda direcionada para um aparelho para anular pulsações de pressão produzidas em um processo de separação de gás, no qual tal aparelho fornece simultaneamente ou alimentação de gás ou evacuação de gás produto, compreendendo: (a) dois sopradores idênticos, tendo cada um, um lado de admissão e um lado de descarga; (b) um primeiro
20 conduto conectado ao primeiro soprador e um segundo conduto conectado ao segundo soprado, onde o primeiro conduto e o segundo conduto são posicionados de maneira simétrica; (c) um conduto unido, para o interior do qual o primeiro conduto e o segundo conduto se unem juntos; e um mecanismo que sincroniza o primeiro soprador com o segundo soprador, no
25 qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão em uma frequência alvejada, as quais são defasadas de 180° com as pulsações de pressão na mesma frequência alvejada geradas pelo segundo soprador.

A figura 9 ilustra um soprador típico tal como o soprador 16, no qual existe um lado de descarga que tem um flange de descarga 33. Os

pulsos são gerados devido à ação de lobos rotativos dentro dos sopradores e é admitido que as ondas associadas começam a viajar na linha de centro do soprador 32. A linha de centro 32 divide o soprador em partes iguais com o lado de descarga de um lado da linha de centro e o lado de admissão do outro.

5 A frequência destes pulsos é diretamente relacionada à velocidade de revolução do eixo de acionamento do soprador e do número de lobos no soprador. O comprimento de onda destes pulsos é simplesmente a relação de velocidade do som para a frequência de pulsações. Para impedir que ressonâncias acústicas se desenvolvam no circuito de tubulação que conecta o

10 soprador a outro equipamento na instalação, os comprimentos de tubo deveriam ser selecionados cuidadosamente comparando-os com o comprimento de onda das pulsações. Por exemplo, para o caso de um único tubo que conecta o soprador a um silenciador, a extremidade do tubo do lado do soprador é tratada como uma extremidade fechada, uma vez que os pulsos

15 de pressão começam a viajar nesta extremidade, e a extremidade do tubo do lado do silenciador é tratada como uma extremidade aberta, uma vez que o tubo se abre para um volume muito maior. Ressonâncias de um quarto de comprimento de onda ($\lambda/4$) se desenvolvem neste tubo com uma extremidade fechada e outra extremidade aberta. Por esta razão, para impedir ressonâncias

20 acústicas na tubulação é requerido que a distância desde a linha de centro do soprador (isto é, o ponto onde as ondas começam a viajar) até a extremidade aberta do tubo de conexão, não seja igual a qualquer inteiro múltiplo de um quarto de comprimento de onda de uma frequência alvejada ou de seus harmônicos mais elevados.

25 Fazendo referência à figura 9, a distância desde a linha de centro do soprador 32 até o flange de descarga 33 é chamada comprimento A. O comprimento do conduto 34 desde a descarga do soprador 33 até a extremidade do conduto 35, isto é, como mostrado na figura 10 onde os dois condutos 8, 9 se unem em um ponto de união 40, é chamado comprimento B.

Então o comprimento total de A+B deveria ser selecionado de tal maneira que não promova que ressonâncias de um quarto de comprimento de onda se desenvolvam na tubulação. Em outras palavras, A+B não deveria ser igual a qualquer inteiro múltiplo de um quarto de comprimento de onda de uma

5 freqüência alvejada ou de seus harmônicos mais elevados.

O comprimento A varia dependendo do tamanho do soprador. Como um exemplo, o comprimento A é grosseiramente 9-10 polegadas (229 a 254 mm) para pequenos sopradores de tamanho de unidade de teste e alcançam até 35-39 polegadas (889 a 991 mm) para os sopradores de tamanho

10 comercial máximo. Sopradores em instalações VPSA tipicamente operam em freqüências na faixa de 40-100 Hz, e os comprimentos de onda correspondentes para esta faixa de freqüências estão na faixa de 10-30 pés (3,04 a 9,12 m). Uma vez que o comprimento A pode ser comparável com os

15 comprimentos de onda aqui mencionados, é crucial incluir este comprimento no comprimento de tubo para cálculos para impedir ressonâncias acústicas. A figura 9 mostra o conduto de descarga 34 como um tubo reto, porém, o conduto de descarga 34 pode ser conformado em L ou angulado para formar uma forma em Y com o conduto de descarga a partir do segundo soprador, por exemplo, os condutos de descarga 8, 9 mostrados nas figuras 2, 3 e 10. A

20 figura 9 ilustra o soprador e tubulação no lado de descarga de um soprador, porém a presente invenção é também direcionada para a tubulação no lado de admissão de um soprador. No caso de tubulação no lado de admissão, medição do comprimento A deveria ser desde a linha de centro até o flange de admissão, e o comprimento B deveria ser o comprimento da tubulação de

25 admissão.

Fazendo referência à figura 10, o soprador 16 é conectado a um conduto de descarga 8 e o soprador 27 é conectado a um conduto de descarga 9. Estes dois condutos de descarga 8, 9 se conectam em um único tubo unido 10, no ponto de união 40. Cada um dos condutos de descarga 8, 9

se estende desde a descarga do soprador até o ponto de união 40, e o tubo unido 10 se estende desde o ponto de união 40 até um pós-resfriador para uma configuração de soprador de alimentação, ou até um silenciador para uma configuração de bomba de vácuo. A figura 10 ilustra condutos conformados em “L” como um exemplo que o conduto 34 da figura 29 não precisa ser um tubo reto e pode ser configurado como o conduto 8 e que a extremidade do conduto 35 é o ponto de união 40. A figura 10 ilustra a tubulação no lado de descarga dos sopradores gêmeos, porém a presente invenção é também direcionada para a tubulação do lado de admissão dos sopradores.

É muito importante analisar o circuito de tubulação dos sopradores gêmeos para utilizar esta tecnologia com sucesso. Os modos acústicos e frequências naturais da tubulação deveriam ser identificados para impedir que ressonâncias acústicas se desenvolvam no circuito de tubulação. Na vizinhança de frequências de ressonância, a amplitude de pulsações é amplificada e a anulação de pulsação se torna menos efetiva. Em adição, dependendo da frequência, diferentes formas de modos podem ser estabelecidas nos condutos 8, 9.

Existem duas formas de modo acústico distintas que podem se desenvolver nos condutos 8, 9 para os sopradores gêmeos. Algumas destas formas de modo apresentam campos de pressão idênticos em ambos os conduto e são aqui identificadas como “modos simétricos”. Por outro lado, existem outras formas de modos, nas quais o campo de pressão em um conduto é completamente oposto ao campo de pressão do outro conduto, e são aqui identificados como “modos assimétricos”. Os modos simétricos e assimétricos são ainda descritos abaixo:

A. Modos Simétricos

Em modos simétricos as pulsações de pressão em ambos os condutos de soprador 8, 9 até o ponto de união 40 são idênticas umas às outras. Para determinar frequências acústicas naturais a distância desde a

linha de centro do soprador 32 até a extremidade de descarga do tubo unido 10 deveria ser utilizada nos cálculos. Esta distância deveria incluir o comprimento A desde a linha de centro do soprador 32 até o flange de descarga do soprador 33 mais o comprimento B desde o flange de descarga do soprador 33 até o ponto de união 40, mais o comprimento do tubo unido 10. Se os condutos estão situados no lado de admissão do soprador, então a distância deveria ser a distância desde a linha de centro do soprador 32 até o flange de admissão do soprador mais o comprimento do conduto de admissão mais o comprimento do tubo de admissão unido. Uma vez que os condutos 8, 9 são idênticos um ao outro, qualquer um pode ser utilizado nos cálculos. Uma vez que o soprador induz condições de extremidade fechada na extremidade do soprador do conduto 34 e a saída do tubo unido 10 tem condições limites de extremidade aberta, ressonâncias acústicas de um quarto de comprimento de onda se desenvolvem na tubulação. As frequências naturais para modos simétrico (f_{ns}) são fornecidas pela seguinte equação:

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

L_b é a distância desde a linha de centro do soprador através do conduto do soprador (seja 8 ou 9) até a extremidade do tubo unido 10, e c é a velocidade do som. Para impedir que ressonâncias acústicas se desenvolvam nos condutos 8, 9 e tubo unido 10, a distância desde a linha de centro do soprador 32 até a extremidade do tubo unido 10 não deveria ser igual a qualquer inteiro múltiplo de um quarto de comprimento de onda de uma frequência alvejada ou de seus harmônicos mais elevados.

B. Modos Assimétricos

Para modos assimétricos desenvolvidos na tubulação, as pulsações de pressão em um dos condutos de soprador 8 são completamente opostas à pulsação de pressão no outro conduto de soprador 9. Em adição, existe uma condição de pressão zero no ponto de união 40,

sem pulsações de pressão presentes no tubo unido 10 a partir do ponto de união 40 até a extremidade do tubo unido. Uma vez que não existem pulsos de pressão no turbo unido, somente freqüências acústicas naturais e modos dos condutos que conectam o soprador (1) 6 ao soprador (2) 7 deveriam ser analisadas. Para determinar freqüências naturais acústicas a distância desde a linha de centro de um dos sopradores através do conduto de soprador ligado até a extremidade do conduto deveria ser utilizada nos cálculos. Por exemplo, para o soprador 16 esta distância deveria ser a distância desde a linha de centro do soprador 32 até o flange de descarga do soprador 33 mais o comprimento do conduto 8 desde o flange de descarga 33 até o ponto de união 40. Se os condutos estão situados no lado de admissão do soprador, então a distância deveria ser a distância desde a linha de centro do soprador 32 até o flange de admissão do soprador mais o comprimento do conduto de admissão.

Uma vez que os sopradores induzem condições limites de extremidade fechada e condições limites de extremidade aberta estão presentes no ponto de união 40, ressonâncias acústicas de um quarto de comprimento de onda ($\lambda/4$) se desenvolvem nos condutos de descarga do soprador. As freqüências naturais para modos assimétricos (f_{nn}) são fornecidas pela equação a seguir:

$$f_{nn} = (2n - 1) \frac{c}{4L_t} \text{ onde } n=1, 2, 3.... \text{ (Equação 2)}$$

L_t é a distância desde a linha de centro do soprador (1) 6 através do primeiro conduto 8 até o ponto unido 40 e c é a velocidade do som. Para impedir que ressonâncias acústicas se desenvolvam nos condutos que conectam soprador ao outro, a distância desde a linha de centro do soprador 16 através do condutor 8 até o ponto unido 40 não deveria ser igual a qualquer inteiro múltiplo de um quarto de comprimento de onda da freqüência alvejada ou de seus harmônicos mais elevados.

Exemplo 1: Análise teórica

Campos de pressão na saída dos condutos de saída do soprador 8, 9 são identificados como mostrado na figura 3. A análise mostrou que se a geometria de tubulação de saída é simétrica e as ondas são completamente defasadas, os pulsos de pressão na tubulação de saída unida 10 são completamente diminuídas. Na análise a origem $x = y = 0$ (onde x é o eixo horizontal que mede a perna horizontal do conduto de saída de cada soprador e y é o eixo perpendicular que mede o comprimento do conduto de saída unido) está localizada onde os dois condutos de saída 8, 9 se encontram e a distância desde a volta de 90° até a origem é ajustada para L de cada lado.

A análise é como a seguir:

Pulsões de pressão no conduto de saída 8 do primeiro soprador 6 são devidas a pulsos gerados pelo primeiro soprador. O campo de pressão neste conduto tem dois componentes, a saber, pressão incidente P_{i1} e sua reflexão P_{r1} estes componentes de pressão são definidos como:

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

Onde A_1 e B_1 são a amplitude de pulsações de pressão e k é o número de onda e é definido como:

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

onde c é a velocidade da onda e λ e f são o comprimento de onda e a frequência das pulsações, respectivamente.

De maneira similar, pressões incidente e refletida no conduto de saída 9 do segundo soprador 7 são definidas como:

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

Onde A_2 e B_2 são a amplitude de pulsações de pressão.

A porção transmitida das ondas de pressão incidentes depois da volta de 90° nos condutos de saída 8, 9 de cada lado podem ser expressas como:

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

Onde C_1 e C_2 são a amplitude de pulsações de pressão.

Utilizando as Equações 3, 4 e 5, a pressão em ambos os pontos de volta nos condutos de saída é expressa como:

$$\text{Em } x = -L \text{ e } y = 0 \quad P_{i1} + P_{r1} = P_{t1} + P_{t2} \rightarrow A_1 + B_1 = C_1 + C_2 \cdot e^{2ikl} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\text{Em } x = L \text{ e } y = 0 \quad P_{i2} + P_{r2} = P_{t2} + P_{t1} \rightarrow A_2 + B_2 = C_2 + C_1 \cdot e^{2ikl} \quad (\text{Equação 8})$$

Também utilizando a Equação 5, pressão no turbo horizontal
5 pode ser expressa como:

$$P = P_{t1} + P_{t2} = C_1 \cdot e^{ik(x+L)} + C_2 \cdot e^{-ik(x-L)} \quad (\text{Equação 9})$$

Em $x = 0$ e $y = 0$, onde os dois condutos de saída se unem, a Equação 6 se reduz a:

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

Combinando as Equações 6 e 7 e então fatorando os termos comuns irá produzir:

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

10 Uma vez que as ondas estão completamente defasadas, então

$$A_1 = -A_2 \quad \text{e} \quad B_1 = -B_2 \quad (\text{Equação 12})$$

Se a Equação 12 é colocada na equação 11, $C_1 + C_2$ se reduz a zero, então a equação de pressão (Equação 8) também vai para a zero no ponto onde os dois tubos são unidos. Portanto, a pressão na tubulação de saída
10 P_f será igual a zero todo o tempo. Isto porque as dimensões do tubo
15 de cada ramal são idênticas e as pulsações de pressão nos condutos 8 e 9 estão defasadas de 180° .

Exemplo 2: Validação

Uma análise de elementos finitos do conduto de saída do tubo do soprador foi realizada utilizando o código comercial ANSYS 5.7 de
20 elementos infinitos. Como mostrado na figura 3, somente a tubulação de saída a partir dos dois sopradores até a entrada do pós-resfriador é modelada. Campos de pressão dentro dos condutos de saída são investigados para diversas geometrias e frequências de pulsação desde 10 hertz até 500 hertz.

Comprimentos de onda correspondentes desta faixa de frequência estão na faixa de 2 pés até 125 pés (0,60 a 38 m) para as faixas de temperatura de interesse, isto é 70° F até 300° F (21,1 a 148,9 °C) e velocidade de onda no ar. É também importante observar que em uma instalação VPSA típica a frequência de pulsação está mais provavelmente na faixa de 40 hertz até 100 hertz, porém poderia ser tão elevada quanto 250 hertz. Deste ponto de vista, frequências de pulsação típicas cabem confortavelmente na faixa de frequência utilizada nas simulações. No modelo o efeito do soprador é introduzido como o limite de pressão, e a forma do perfil de pressão é admitida ser senoidal. Em adição, devido à natureza axi-simétrica da geometria do tubo, somente um modelo bidimensional foi desenvolvido para economizar tempo e esforço de computação.

Nas simulações dos tubos de saída do soprador eram de 12 polegadas de diâmetro conformados em L, isto é, tendo uma dobra de 90° e 5 pés de comprimento de cada lado do L antes de se unirem um com o outro. Nas simulações, diferentes comprimentos de conduto foram testados para a conexão de tubulação a partir da descarga do soprador até o ponto onde ambos os tubos se unem. É observado que não há qualquer efeito de comprimento de tubo nos níveis de pulsação do tubo final unido, uma vez que as pulsações são sempre anuladas uma com a outra depois que os tubos são unidos, desde que os condutos sejam simétricos e as pulsações de pressão estejam defasadas de 180°. De maneira similar, simulações realizadas com diferentes frequências de excitação, isto é, diferentes comprimentos de onda, produziram ondas anuladas no tubo unido quando as condições descritas acima foram satisfeitas. Contudo, o nível de pulsações nos condutos, antes que eles se unam, depende do comprimento de tubo e frequência de excitação. Para impedir que pulsos de pressão excessiva se desenvolvam nos condutos, comprimentos de tubo deveriam ser cuidadosamente selecionados de modo que a frequência de pulsações de pressão não coincida com ressonância

acústica do tubo e coloque o tubo em ressonância. O comprimento dos condutos não deveria ser igual a qualquer múltiplo inteiro de um quarto de comprimento de onda para a frequência de pulsação primária ou seus harmônicos mais elevados, para impedir que ressonâncias de um quarto comprimento de onda se desenvolvam nos condutos antes que as ondas interfiram uma com a outra.

Uma vez que os conduto se unam um com o outro, os expulso gerados pelo primeiro soprador interferem com os pulsos gerados pelo segundo soprador e eventualmente os pulsos se anulam um ao outro se a simetria e condições de pressão defasadas de 180° são alcançadas, como mostrado na figura 4. Anulação de pulsações de pressão com pulsações de pressão a partir de uma outra fonte é um meio de sucesso de reduzir as pulsações particularmente em baixas frequências. É importante manter a simetria da tubulação de modo que quando as pulsações a partir do primeiro soprador interferem com as pulsações do segundo soprador, os dois conjuntos de pulsações estejam completamente defasados, (isto é, a 180°) e se anulem um ao outro. Se os pulsos de pressão não estão completamente defasados como mostrado na figura 5, ou a configuração de tubulação não seja totalmente simétrica como mostrado na figura 6, simulações mostram que pulsações de pressão não são anuladas no conduto unido. Por estas razões o fator chave para a anulação efetiva de pulsação é ter toda a unidade simétrica, na qual os sopradores e tubulação devem ser idênticos em dimensão, geometria e propriedades de material.

Exemplo 3: Características de escoamento.

Também é importante investigar as características de escoamento dos condutos de saída uma vez que a mecânica de escoamento é completamente diferente da mecânica de onda na tubulação. Direcionar as ondas opostas uma para a outra pode anulá-las de maneira efetiva, porém de um ponto de vista de mecânica de fluidos direcionar dois escoamentos

diretamente um para o outro pode resultar em formação de vórtice e queda de pressão mais elevada na tubulação. Por esta razão, uma simulação de dinâmica de fluidos em computador do circuito de tubos foi realizada utilizando o software de computação comercial ANSYS/CFX de dinâmica de fluidos. Neste modelo o mesmo comprimento e diâmetro de tubo foram utilizados como no modelo de onda e simulações. Cada soprador foi admitido fornecer uma vazão extremamente elevada de 40.000 de ar para um tubo de 12 polegadas de diâmetro. A vazão foi selecionada de maneira intencional para ser elevada, para investigar o campo de escoamento sob escoamentos muito elevados. A figura 7 ilustra a mistura efetiva e homogênea do escoamento a partir dos dois condutos sem formar um vórtice nesses casos de escoamento extremo, portanto, não deveria haver aspectos de escoamento nestas ou em quaisquer outras velocidades mais baixas.

A invenção aqui descrita está discutida no contexto de sopradores de alimentação. Contudo, o conceito de sopradores gêmeos é igualmente aplicável a aplicações de vácuo. De fato é mais crucial utilizar sopradores gêmeos em uma aplicação de vácuo, uma vez que a quantidade máxima de gás por tempo unitário é deslocada durante a etapa de vácuo. A necessidade por um soprador maior e silenciar os pulsos correspondentes mais elevados é amplificada durante a etapa de vácuo.

Compressores rotativos de deslocamento positivo podem ser divididos nos seguintes grupos: (a) lobo reto, que inclui 2 lobos e 3 lobos; (b) compressores de parafuso (helicoidais) que incluem 3+4 e 4+6; (c) compressores de palheta deslizante que incluem 6, 8 ou 10 palhetas ou mesmo números mais elevados podem ser utilizados. A presente invenção pode trabalhar com qualquer tipo de soprador com qualquer número de lobos de soprador, desde que ambos os sopradores tenham o mesmo número de lobos. Ter a mesma geometria interna e o mesmo número de lobos em cada um dos sopradores gêmeos irá garantir que os pulsos gerados pelo primeiro soprador

serão idênticos aos pulsos gerados pelo segundo soprador. Para o caso de sopradores de dois lobos, por geometria, existem quatro bolsos no soprador. Em uma rotação completa de 360° do eixo de acionamento quatro bolsos são descarregados pelo soprador, e daí quatro pulsos de pressão são gerados para uma rotação completa do eixo de acionamento. Portanto, pulsações de pressão completam ciclo completo para cada 90° de rotação do eixo de acionamento. Por esta razão, para gerar pulsações completamente defasadas sopradores de 2 lobos deveriam estar defasados de 45° . De maneira similar, no caso de sopradores de 3 lobos existem seis bolsos no soprador. Em uma rotação completa do eixo de acionamento seis bolsos são descarregados pelo soprador e daí seis pulsos de pressão são gerados por uma rotação completa do eixo de acionamento. Portanto, pulsações de pressão completam ciclo completo para cada 60° de rotação do eixo de acionamento. Por esta razão, para gerar pulsações de pressão completamente defasadas dois sopradores deveriam ser operados defasados de 30° para anular pulsações. Como um exemplo, para uma velocidade de motor típica de 900 rpm em uma instalação VPSA a frequência de rotação do eixo de acionamento é 15 hertz (900 rpm). Um soprador de dois lobos gera pulsações a quatro vezes a frequência do eixo de acionamento e um soprador de três lobos gera pulsações a seis vezes a frequência do eixo de acionamento. Assim, um soprador de dois lóbulos operando a 900 rpm irá gerar pulsações de pressão a uma frequência primária de 60 hertz e um soprador de três lobos operando a 900 rpm irá gerar pulsações de pressão a uma frequência primária de 90 hertz.

Diferentes configurações de tubulação foram testadas para observar o efeito de configuração de tubo na interferência de onda. Ao invés da tubulação preferencial conformada em L, tubulação reta vindo dos sopradores e formando uma forma Y depois que se unem, foi testada e produziu resultados com sucesso como mostrado na figura 8. É observado que desde que a tubulação seja simétrica, qualquer geometria de tubulação irá

trabalhar para alcançar a anulação de onda.

Pulsações de pressão começam a se desenvolver no ponto de descarga de cada soprador e somente se anulam depois que pulsações de ambos os sopradores interferem umas com as outras. Por esta razão, uma
5 utilização de um ressonador Helmholtz pode ser necessária para impedir que as pulsações de pressão se desenvolvam no conduto de cada soprador antes que os condutos sejam unidos no ponto de união. Pulsações são particularmente amplificadas quando uma das frequências de ressonância acústica da tubulação coincide com a frequência do soprador ou seus
10 harmônicos. Ressonadores Helmholtz são muito efetivos para anular pulsos de pressão em certas frequências. Colocar um ou mais tais ressonadores na saída de cada soprador antes de unir os dois tubos irá eliminar quaisquer pulsações nas frequências específicas, antes que elas sejam desenvolvidas nestes tubos para reduzir ainda mais pulsações de pressão. Estes um ou mais
15 ressonadores podem também ser colocados no lado de admissão de cada soprador. É muito crucial colocar estes ressonadores simetricamente, de modo que eles não irão atrapalhar anulação ativa dos pulsos de pressão na frequência primária gerada pelo sopradores.

De um ponto de vista técnico, a maneira mais efetiva de anular
20 pulsações e ruído da instalação é atenuar as pulsações em sua fonte. A presente invenção utiliza o conceito de anulação de pulsação ativa interferindo ondas de mesma amplitude defasadas de 180° imediatamente depois que elas são geradas. Anulação de pulsação ativa fornecida pelos sopradores gêmeos elimina a maior parte das mais danosas pulsações de baixa
25 frequência na frequência primária dos sopradores. Deste ponto de vista, anulação de pulsação ativa é sempre preferível sobre silenciadores reativos ou de absorção, uma vez que eles não são tão efetivos para atenuar pulsações de baixa frequência. Além disto, eliminação de pulsações logo depois que elas são descarregadas do soprador, significa menos tensão e mais confiabilidade

da tubulação da instalação e equipamentos da instalação.

Em uma outra configuração da invenção os condutos posicionados no lado de admissão dos sopradores são também simétricos e se unem em um conduto unido, e podem ser utilizados em combinação com ressonadores Helmholtz e/ou silenciadores.

Sopradores menores criam pulsos com amplitudes menores quando comparados a pulsos gerados por um soprador muito maior, uma vez que amplitude de pulso é diretamente relacionada ao tamanho do soprador. Deste ponto de vista, utilizar sopradores gêmeos gera pulsações menores e são portanto menos problemas do que um único soprador grande.

Uma instalação VPSA típica é equipada com silenciadores de admissão de soprador de alimentação e de descarga de soprador de vácuo para eliminar ruído não desejado e pulsação na instalação. Uma vez que o tamanho da instalação se torna maior, o tamanho e custo de tal silenciador também aumenta. Algumas vezes um ressonador Helmholtz é empregado em adição ao silenciador, uma vez que o silenciador por si mesmo é insuficiente para atenuar o nível elevado de pulsações do soprador. Esta invenção elimina necessidade por grandes silenciadores caros. Processos de separação de gás que utilizam um ou mais leitos podem utilizar esta invenção ou para fornecer gás de alimentação para os leitos ou para evacuar os leitos.

Pulsações de gás elevadas são também uma preocupação importante para confiabilidade de equipamento em instalações de separação de gás. No passado diversas falhas foram devidas a pulsações de gás geradas por sopradores. Um conjunto gêmeo de sopradores irá eliminar danificar potencialmente pulsações elevadas de gás e, como resultado, irá aumentar a confiabilidade da instalação.

Esta invenção também elimina a necessidade por sopradores caros e grandes feitos sob medida. O conceito de sopradores gêmeos utiliza dois sopradores relativamente pequenos e disponíveis comercialmente, para

fornecer um grande escoamento de ar para o interior da instalação. A alternativa proibitivamente cara para esta abordagem é construir sob medida um soprador que produza o dobro do escoamento de cada pequeno soprador. Além de ser caro, tais sopradores grandes produzem pulsações muito elevadas e silenciar tais pulsações se torna uma tarefa cara e desafiadora.

5

Embora invenção tenha sido descrita em detalhe com referência a certas configurações preferenciais, aqueles versados na técnica irão reconhecer que estas são outras configurações dentro do espírito e escopo das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para anular pulsações de pressão produzidas em um sistema de separação de gás (1) em que tal aparelho fornece simultaneamente gás de alimentação ou evacua gás de produto, caracterizado
5 pelo fato de compreender:

(a) dois sopradores idênticos (6, 7), cada um tendo um flange de admissão, um lado de admissão, um lado de descarga, um flange de descarga e uma linha de centro entre o lado de admissão e o lado de descarga;

10 (b) um primeiro conduto (8) conectado ao primeiro soprador (6) em qualquer dentre o flange de descarga ou o flange de admissão, e um segundo conduto (9) conectado ao segundo soprador (7) em qualquer dentre o flange de descarga ou o flange de admissão, onde o primeiro conduto (8) e o segundo conduto (9) são simétricos e possuem dimensões e geometrias idênticas e são posicionados de maneira simétrica;

15 (c) um conduto unido (10), para o interior do qual o primeiro conduto (8) e o segundo conduto (9) se unem juntos em um ponto de união; e

(d) um mecanismo (22) que sincroniza o primeiro soprador (6) com o segundo soprador (7), no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão em uma frequência alvejada as quais são defasadas de 180° com as
20 pulsações de pressão na mesma frequência alvejada geradas pelo segundo soprador.

2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a frequência alvejada ser a frequência primária das pulsações de pressão geradas pelos sopradores.

25 3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o total do comprimento do primeiro soprador (6) desde sua linha de centro até seu flange de descarga mais o comprimento do primeiro conduto (8) desde o flange de descarga até o ponto de união não ser igual a qualquer múltiplo inteiro de um quarto de um comprimento de onda de uma frequência

alvejada ou seus harmônicos mais elevados.

4. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o total do comprimento do primeiro soprador (6) desde sua linha de centro até seu flange de descarga mais o comprimento do primeiro conduto (8) desde o flange de descarga até o ponto de união mais o comprimento do conduto unido (10) não ser igual a qualquer múltiplo inteiro de um quarto de um comprimento de onda de uma frequência alvejada ou seus harmônicos mais elevados.

5. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que a frequência alvejada está na faixa de 40 a 250 Hz.

6. Método para anular pulsações de pressão para operar sopradores em uma instalação de separação de gás (1), caracterizado pelo fato de compreender:

15 (a) instalar dois sopradores idênticos (6, 7), cada um tendo um flange de admissão, um lado de admissão, um lado de descarga, um flange de descarga e uma linha de centro entre o lado de admissão e o lado de descarga;

(b) conectar o primeiro soprador (6) a um primeiro conduto (8) em qualquer dentre o flange de descarga ou flange de admissão e o segundo soprador (7) a um segundo conduto (9) em qualquer um dentre o flange de descarga ou o flange de admissão, em que o primeiro conduto e segundo condutos são simétricos e possuem dimensões e geometrias idênticas;

(c) posicionar o primeiro conduto (8) e o segundo conduto (9) de maneira simétrica;

25 (d) unir o primeiro conduto (8) com o segundo conduto (9) em um ponto de união para um único conduto unido (10); e

(e) sincronizar o primeiro soprador (6) com o segundo soprador (7), no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão em uma frequência alvejada, as quais são defasadas de 180° com as pulsações de

pressão na mesma frequência alvejada gerada pelo segundo soprador.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de a frequência alvejada ser a frequência primária das pulsações de pressão geradas pelos sopradores.

5 8. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de o total do comprimento do primeiro soprador (6) desde sua linha de centro até seu flange de descarga mais o comprimento do primeiro conduto (8) desde o flange de descarga até o ponto de união não ser igual a qualquer múltiplo inteiro de um quarto de um comprimento de onda de uma frequência
10 alvejada ou seus harmônicos mais elevados.

9. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de o total do comprimento do primeiro soprador (6) desde sua linha de centro até seu flange de descarga mais o comprimento do primeiro conduto desde (8) o flange de descarga até o ponto de união mais o comprimento do
15 conduto unido (10) não ser igual a qualquer múltiplo inteiro de um quarto de um comprimento de onda de uma frequência alvejada ou seus harmônicos mais elevados.

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 6 a 9, caracterizado pelo fato de que a frequência alvejada está na faixa de 40 a
20 250 Hz.

11. Sistema de separação de gás baseado em adsorção, caracterizado pelo fato de compreender:

(a) dois sopradores idênticos (6, 7), cada um tendo um flange de admissão, um lado de admissão, um lado de descarga, um flange de
25 descarga e uma linha de centro entre o lado de admissão e o lado de descarga;

(b) um primeiro conduto (8) conectado ao primeiro soprador (6) em qualquer dentre o flange de descarga ou o flange de admissão, e um segundo conduto conectado (9) ao segundo soprador (7) em qualquer dentre o flange de descarga ou o flange de admissão, onde o primeiro conduto (8) e o

segundo conduto (9) são simétricos e possuem dimensões e geometrias idênticas e são posicionados de maneira simétrica;

(c) um conduto unido (10), para o interior do qual o primeiro conduto (8) e o segundo conduto (9) se unem juntos em um ponto de união; e

5 (d) um mecanismo (22) que sincroniza o primeiro soprador com (6) o segundo soprador (7), no qual o primeiro soprador gera pulsações de pressão em uma frequência alvejada as quais são defasadas de 180° com as pulsações de pressão na mesma frequência alvejada geradas pelo segundo soprador.

10 12. Sistema de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a frequência alvejada ser a frequência primária das pulsações de pressão geradas pelos sopradores.

15 13. Sistema de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de o total do comprimento do primeiro soprador (6) desde sua linha de centro até seu flange de descarga mais o comprimento do primeiro conduto (8) desde o flange de descarga até o ponto de união não ser igual a qualquer múltiplo inteiro de um quarto de um comprimento de onda de uma frequência alvejada ou seus harmônicos mais elevados.

20 14. Sistema de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de o total do comprimento do primeiro soprador (6) desde sua linha de centro até seu flange de descarga mais o comprimento do primeiro conduto (8) desde o flange de descarga até o ponto de união mais o comprimento do conduto unido (10) não ser igual a qualquer múltiplo inteiro de um quarto de um comprimento de onda de uma frequência alvejada ou seus harmônicos
25 mais elevados.

15. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 14, caracterizado pelo fato de que a frequência alvejada está na faixa de 40 a 250 Hz.

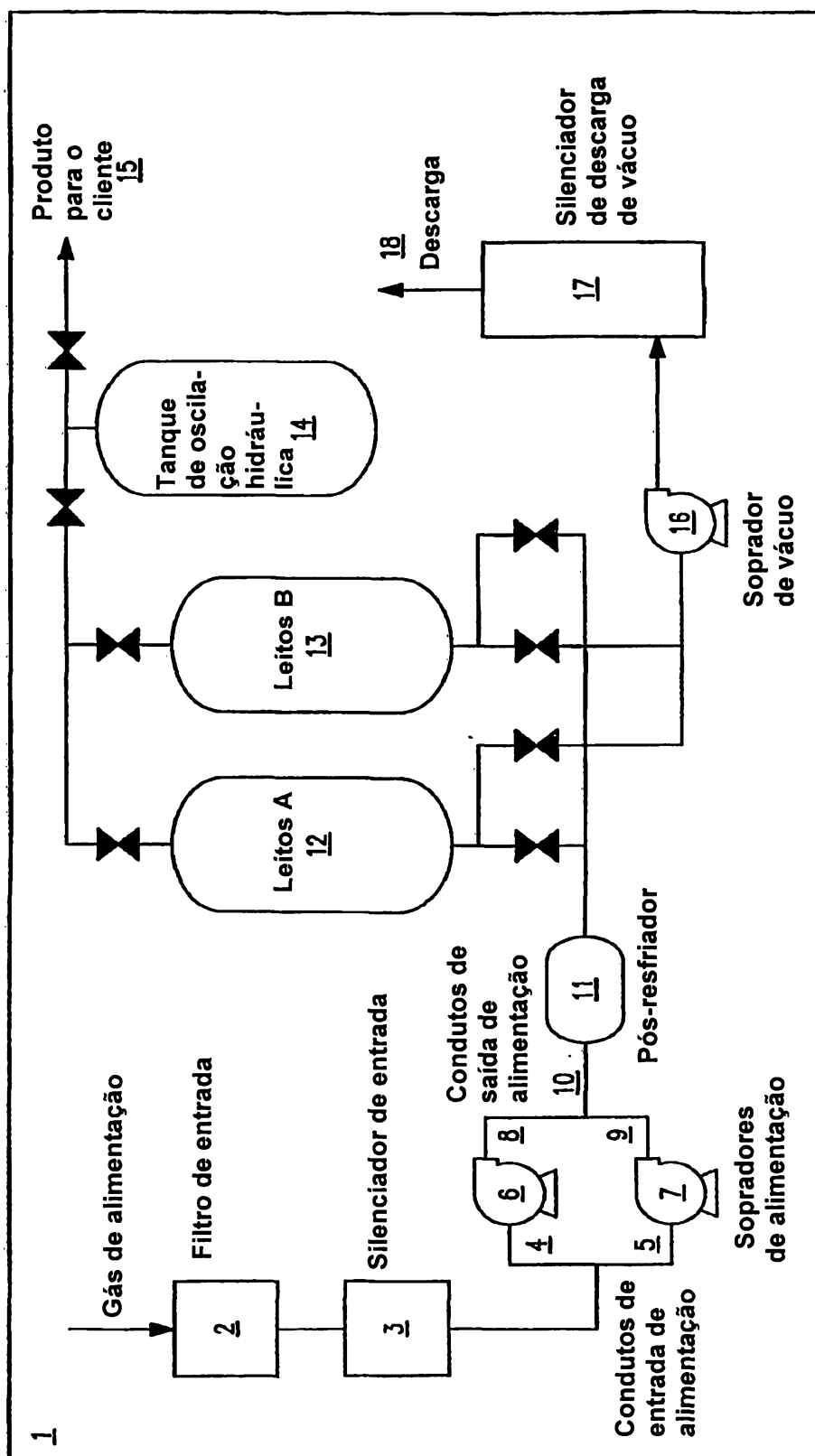


FIG. 1

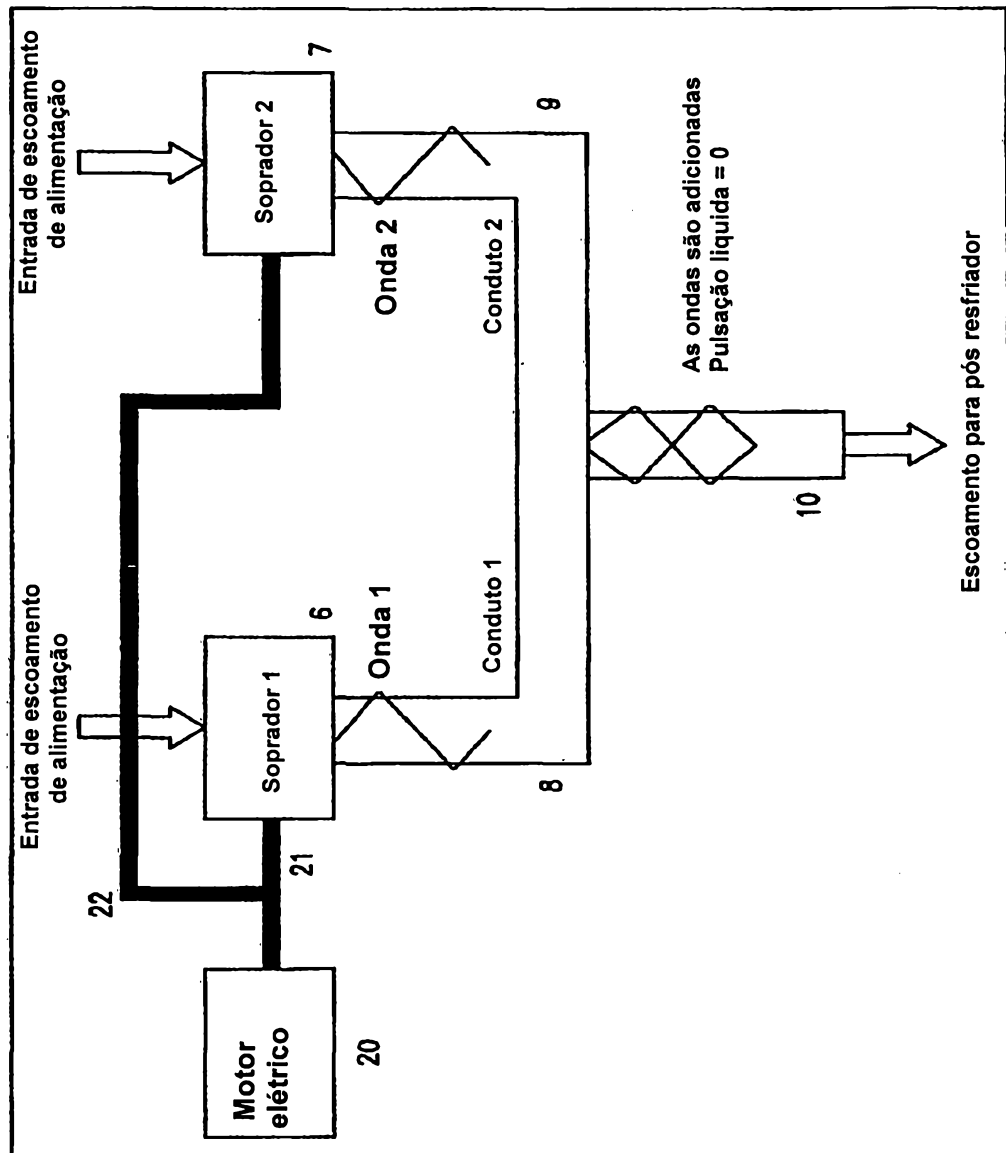


FIG. 2

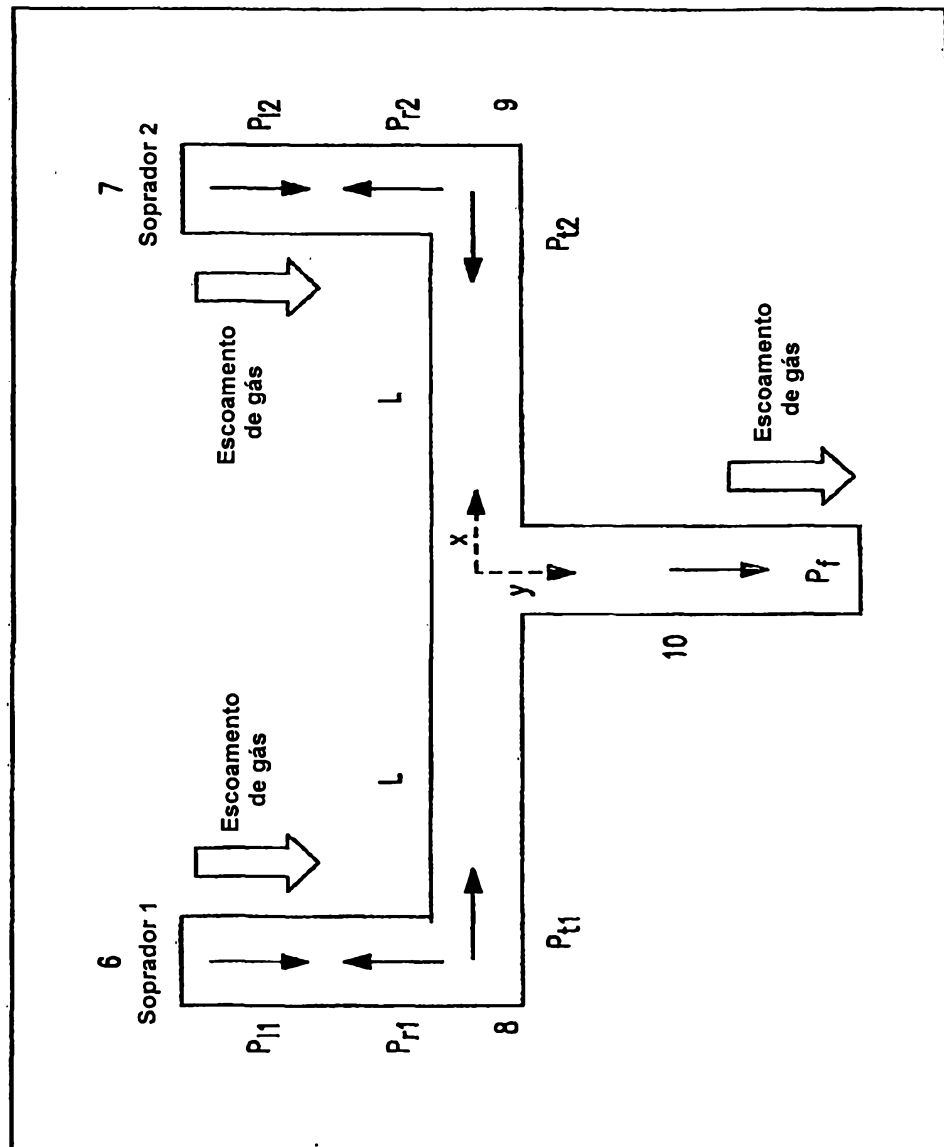


FIG. 3

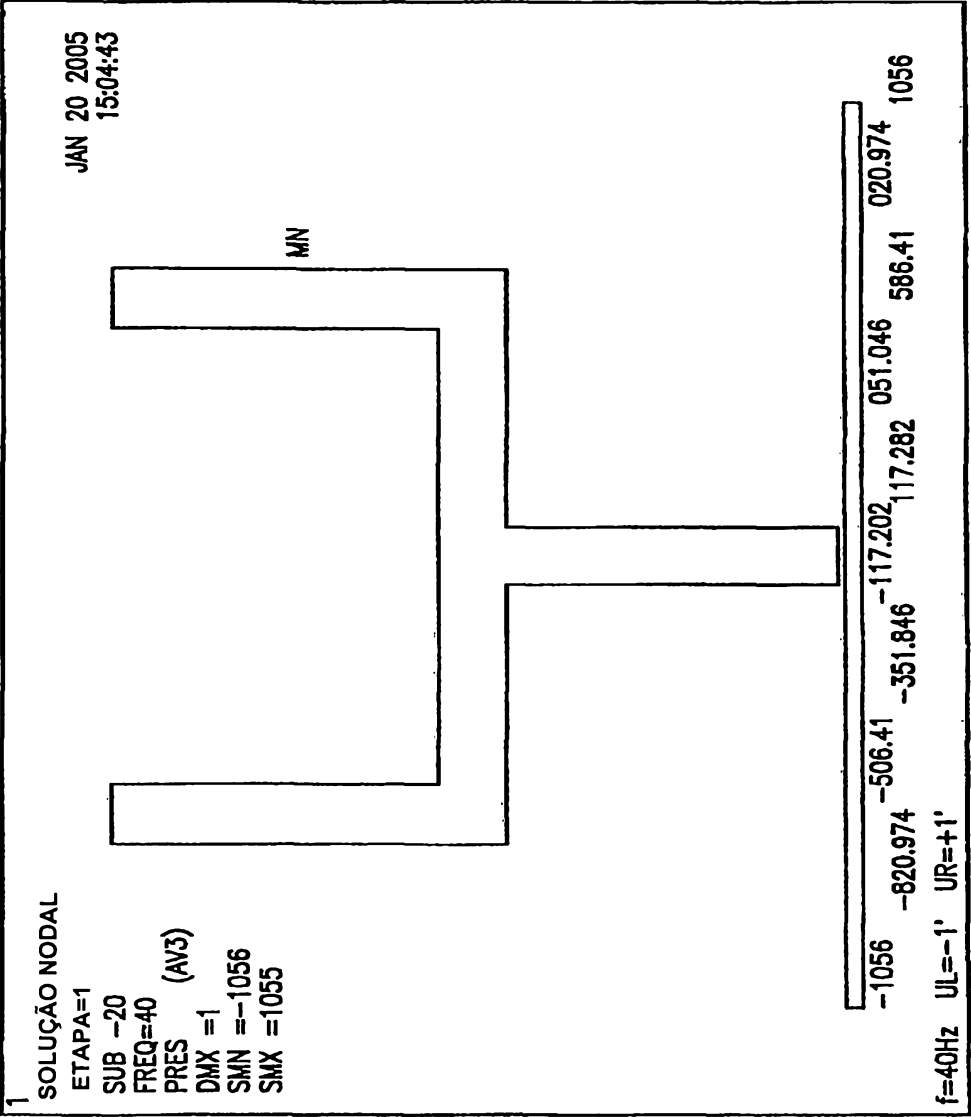


FIG. 4

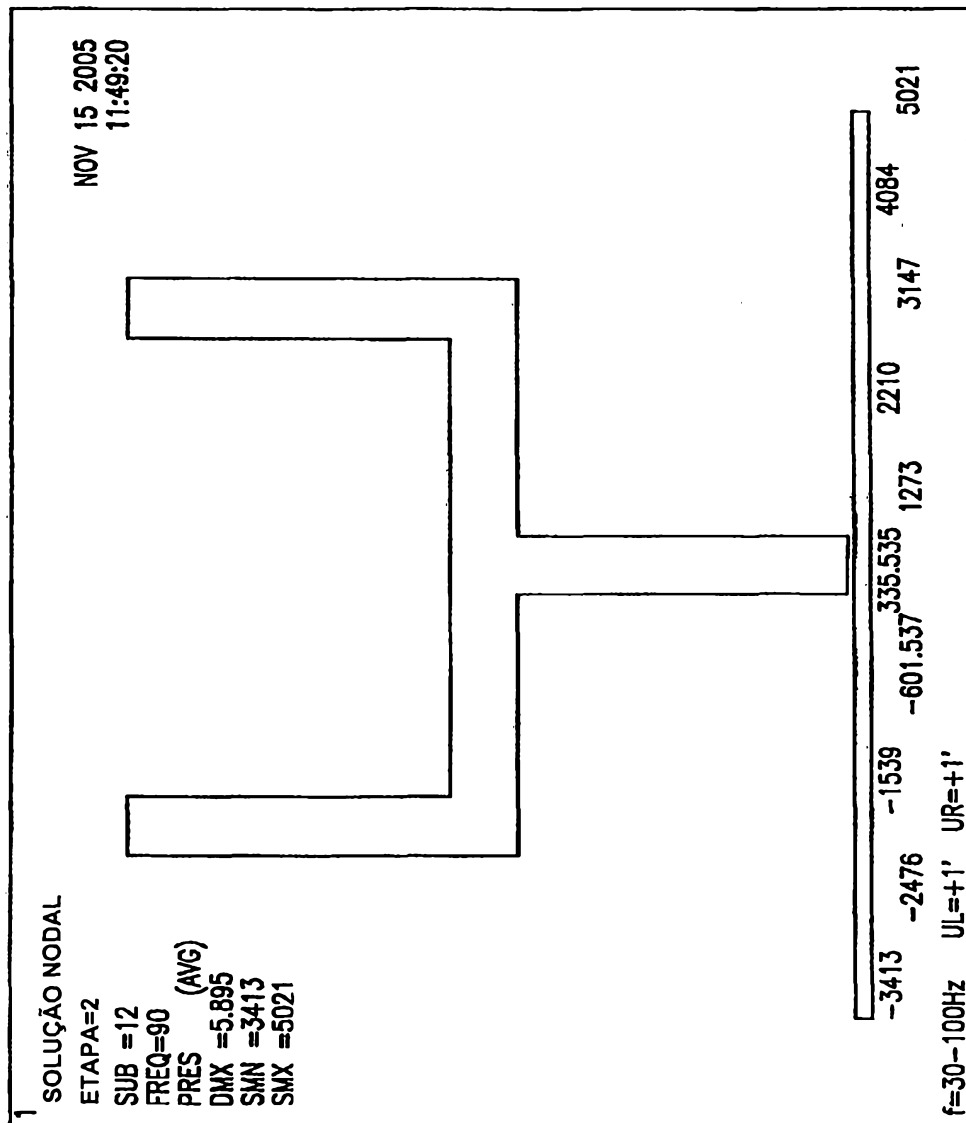


FIG. 5

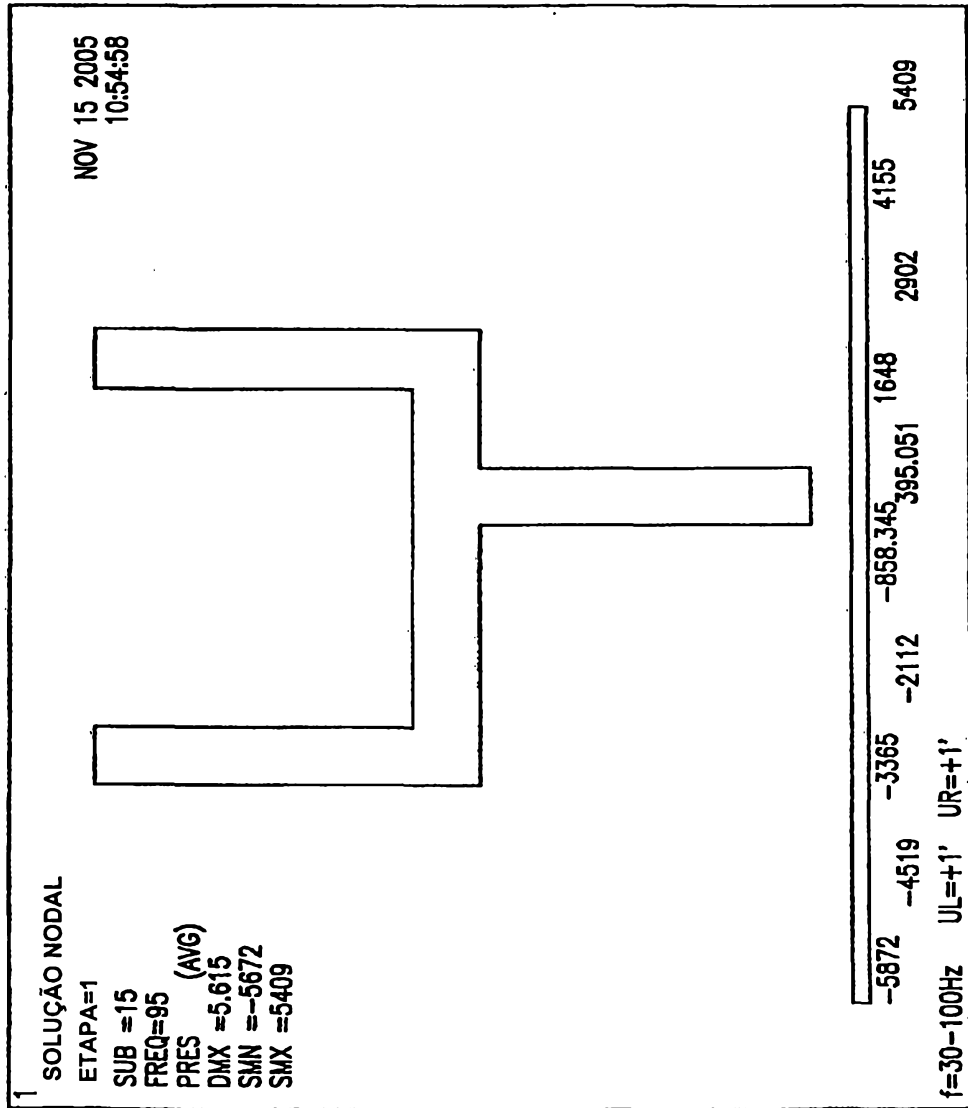


FIG. 6

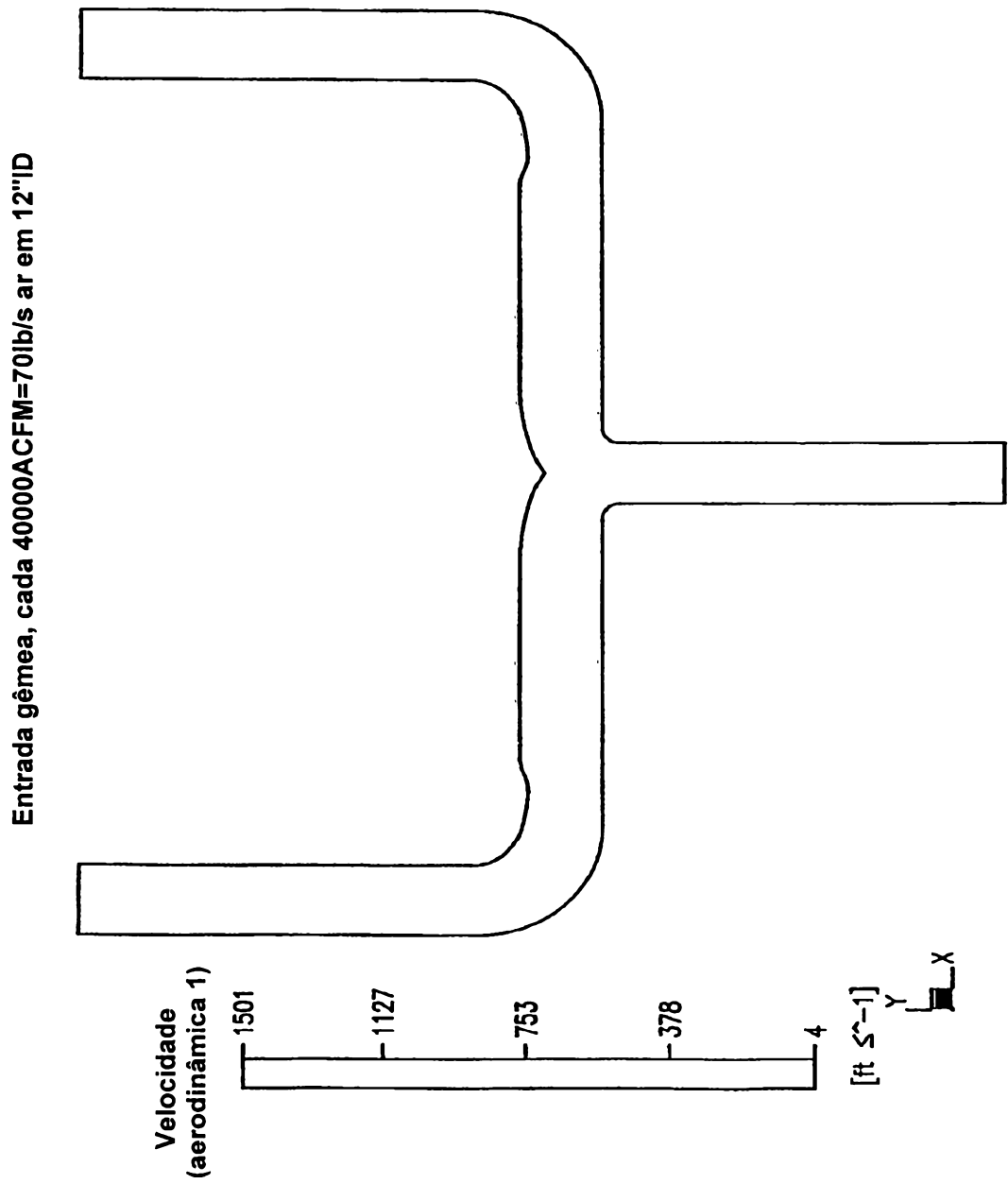


FIG. 7

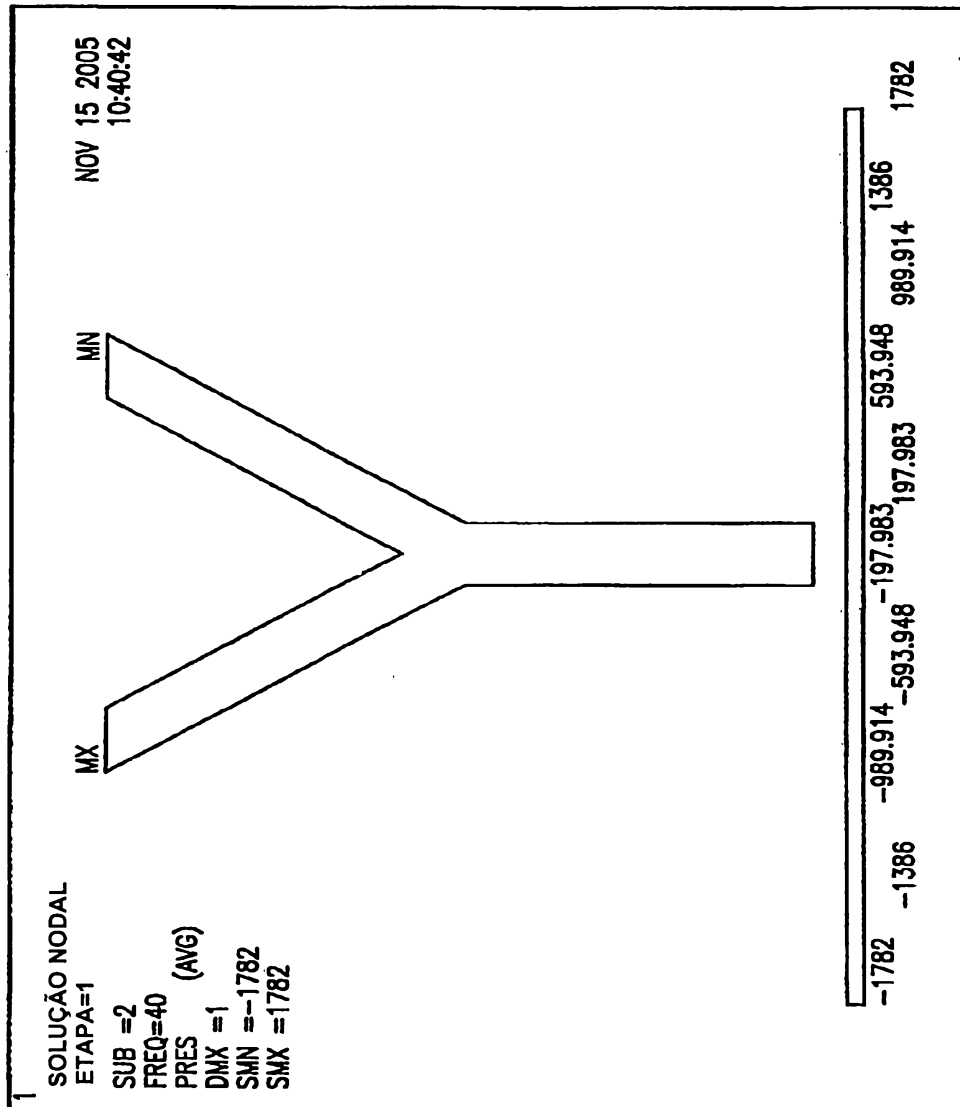


FIG. 8

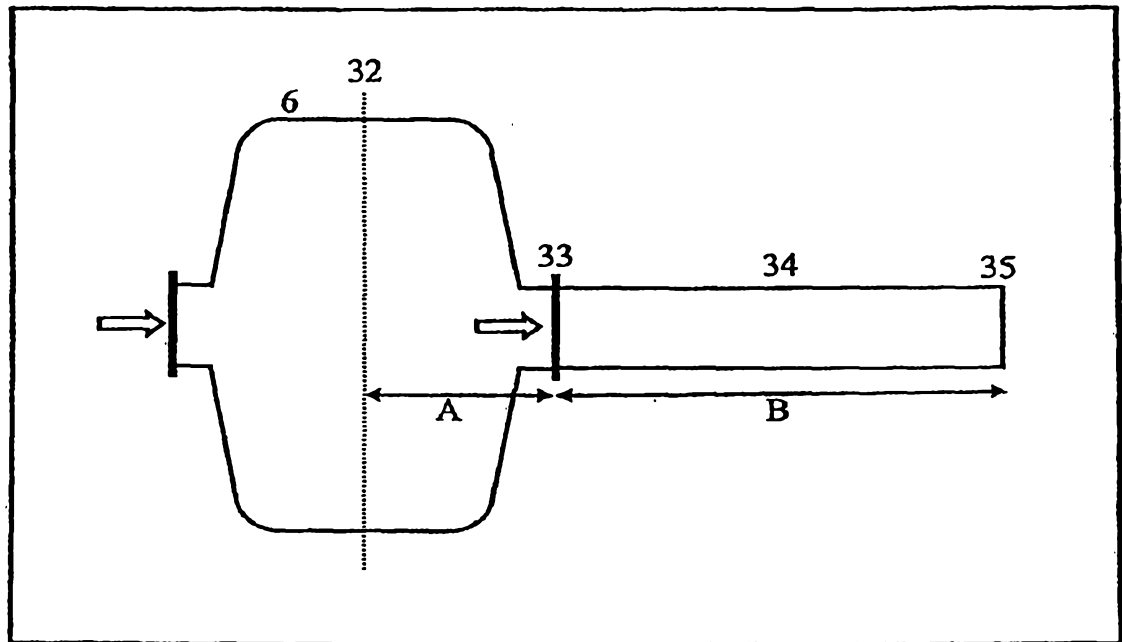


FIGURA 9

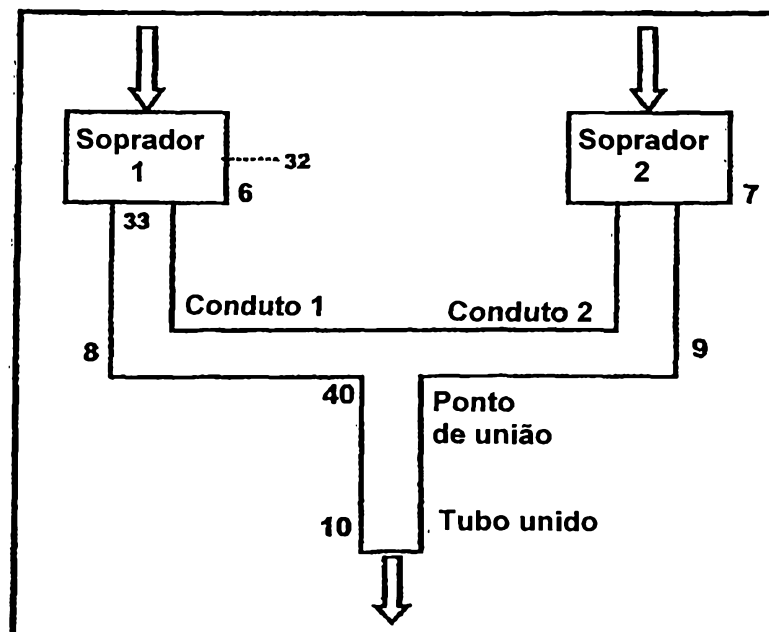


FIGURA 10