

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 0713057-0 A2**



(22) Data de Depósito: 12/06/2007  
(43) Data da Publicação: 10/04/2012  
(RPI 2153)

(51) *Int.Cl.:*  
B01F 5/06  
B01F 5/04  
F23J 15/00  
F15D 1/02

(54) **Título:** MISTURADOR ESTÁTICO DOTADO DE UM PAR DE PÁS PARA A GERAÇÃO DE UM TURBILHÃO DE FLUXO NA DIREÇÃO DE UM FLUXO DE PASSAGEM

(30) **Prioridade Unionista:** 27/06/2006 EP 06 116121.2

(73) **Titular(es):** Sulzer Chemtech AG

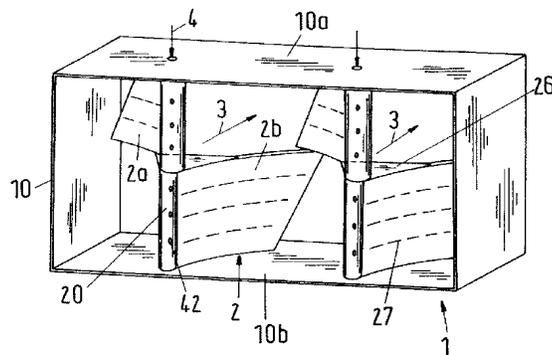
(72) **Inventor(es):** Felix Moser, Joacihm Schoeck, Sabine Sulzer Worlitschek

(74) **Procurador(es):** Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) **Pedido Internacional:** PCT EP2007055744 de 12/06/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/000616de 03/01/2008

(57) **Resumo:** MISTURADOR ESTÁTICO DOTADO DE UM PAR DE PÁS PARA A GERAÇÃO DE UM TURBILHÃO DE FLUXO NA DIREÇÃO DE UM FLUXO DE PASSAGEM. A presente invenção refere-se a um misturador estático (1) que inclui ao menos um par de pás (2; 2a, 2b) para a geração de um turbilhão de fluxo (300) na direção (30) de um fluxo de passagem (3). As bordas das pás na frente do lado de ataque são perpendiculares ao fluxo de passagem e paralelas a uma altura da passagem (10). Superfícies no fluxo seguindo a direção de fluxo são encurvadas de uma forma côncava e em sentidos opostos. Cada pá (2a, 2b) é formada como um corpo projetado aerodinamicamente que inclui uma parede de extremidade (20), uma parede lateral convexa (21) e uma parede lateral côncava (22). A parede de extremidade tem um formato convexo ou um formato de um bordo de ataque. As seções transversais de pá perpendiculares às paredes laterais possuem, em particular, formatos similares às seções transversais de asas de avião.



Relatório da Patente de Invenção para **"MISTURADOR ESTÁTICO DOTADO DE UM PAR DE PÁS PARA A GERAÇÃO DE UM TURBILHÃO DE FLUXO NA DIREÇÃO DE UM FLUXO DE PASSAGEM"**.

A presente invenção refere-se a um misturador estático dotado  
5 de ao menos um par de pás para a geração de um turbilhão de fluxo na direção de um fluxo de passagem, de acordo com o preâmbulo da reivindicação 1. Este par de pás é um elemento misturador estático indutor de vórtice. Tal par de pás, ou uma pluralidade de pares de pás que são dispostos lado a lado na seção transversal de uma passagem, em particular uma passagem  
10 retangular, forma um misturador estático indutor de vórtice. Normalmente, os pares de pás são dispostos um ao lado do outro em uma "fileira"; eles podem, no entanto, também ser dispostos um ao lado do outro e um por cima do outro de forma semelhante a uma grade, em duas ou mais "fileiras".

Um fluido secundário pode, por exemplo, ser misturado a um  
15 fluido primário usando o elemento misturador estático indutor de vórtice. Nesta junção, o fluido primário pode ser um gás queimado contendo óxidos de nitrogênio no qual deve ser realizada uma desnitrificação por intermédio de um catalisador em uma unidade para redução de óxido (DeNOX), com o fluido secundário sendo medido como um aditivo na forma de amônia ou de  
20 uma mistura amônia/ar. Pode ser obtida uma mistura do fluido secundário no fluido primário com a homogeneização necessária com pequena perda de pressão usando um aparelho conhecido através da Patente DE-A- 195 39 923 C1, um misturador estático para um fluxo de passagem. Pode também ser realizada uma homogeneização apenas na forma de equilíbrio de temperatura e/ou de concentração com o elemento misturador estático indutor de  
25 vórtice.

No aparelho conhecido, ao menos duas pás de área de geração de vórtice são dispostas em uma passagem percorrida pelos fluidos de modo que a geração de um turbilhão é forçada na direção do fluxo de passagem, a direção de fluxo principal. As bordas das pás na frente do lado de  
30 ataque são fixadas a um tubo disposto perpendicular à direção principal de fluxo e paralelo a uma altura (ou lado mais curto) da passagem. Este tubo de

fixação conecta uma parede de passagem inferior à parede de passagem superior. O medidor de aditivo pode ser integrado ao tubo. O segundo fluido alimentado para dentro do tubo pode ser distribuído no fluido primário por uma pluralidade de bocais. As duas pás são compensadas uma em relação à outra e são presas ao tubo de fixação em forma de V. Iniciando-se das bordas anteriores, as pás são encurvadas em sentidos opostos de modo que elas possuem uma superfície côncava no lado de ataque. As seções transversais das pás ao longo da direção do fluxo principal têm uma extensão longitudinal variável e um alinhamento variável. Em consequência do formato especial, o turbilhão é criado no fluxo de passagem, o que realiza uma mistura sobre toda a altura total da passagem na forma de um vórtice primário.

Mostrou-se que uma solução de acordo com a qual as pás são formadas de folhas metálicas de paredes finas não é tecnicamente praticável, particularmente para misturadores com grandes dimensões, na faixa de alguns metros, como são comuns nas unidades para redução de óxido, instalações de incineração de resíduos, ou semelhantes, como é mostrado na Patente DE 195 39 923 C1. Isto é devido a várias razões: por um lado, tais pás são muito facilmente deformáveis, de modo que a sua construção de acordo com as dimensões especificadas é quase impossível. O transporte e, em particular, a montagem de tal misturador em um conduto de grande fluxo, por exemplo, em um conduto de gás de combustão, o que usualmente ocorre em um lugar de construção sob severas condições, requer, conseqüentemente, precauções custosas. Além disso, tem sido mostrado em cálculos de resistência de material, que as pás, que em operação são submetidas a sólidos finamente granulados em suspensão com alta velocidade e grande turbulência, tendem a vibrar quando semelhante tipo de estrutura leve é usada. Tais vibrações podem levar a sérios danos e, em consequência, devem ser evitadas sob quaisquer circunstâncias.

Para evitar estes problemas associados com a técnica antecedente, as pás, de acordo com a técnica anterior, devem ser feitas de folhas metálicas de parede grossa, o que significa folhas metálicas com espessuras

de parede de alguns milímetros. Semelhante espessura de parede de folha metálica causa numerosos problemas de fabricação, porque tal folha metálica de parede espessa nas dimensões e geometria requeridas é quase impraticável mecanicamente, em particular a laminação. Uma desvantagem adicional a ser considerada é o alto consumo de material para as pás feitas com folhas metálicas de parede espessa, em particular se o comprimento das pás se situa na faixa de um metro ou mais. Este consumo de material leva, por um lado, a altos custos de material. Por outro lado, o alto consumo de material leva a um misturador estático de grande peso, uma vez que o misturador é montado dentro de grandes condutos de gás de combustão. Tais condutos de gás de combustão consistem habitualmente em folhas metálicas de paredes finas e, em consequência, paredes feitas de tais folhas metálicas de paredes finas possuem uma função de suporte limitada. Para a montagem de um misturador tão pesado, os condutos de gás de combustão devem ser reforçados por estruturas de suporte adicionais complicadas.

Uma possibilidade adicional, embora por si só insuficiente, de acrescentar rigidez às pás de acordo com a técnica anterior é mostrada também na Patente DE 195 39 923 C1.

Nesta modalidade vantajosa, uma placa de união fixada perpendicular ao tubo conecta as duas superfícies do par de pás. A placa de união serve tanto para a estabilização aerodinâmica quanto para a estabilização mecânica. No entanto, esta rigidez adicionada não é adequada às pás para condutos de gás de combustão de grande seção transversal, porque as bordas laterais livres das pás situadas em oposição à placa de união não podem ser enrijecidas por esta medida e, conseqüentemente, persistem as vibrações indesejáveis da pá em razão dos vórtices induzidos pelo fluxo de gás de combustão, conforme descrito em seguida.

Uma pluralidade de pares de pás induz um número correspondente de vórtices primários que permitem uma mistura total de um aditivo sobre a seção transversal da passagem. Nesta junção, os respectivos sentidos de rotação dos vórtices primários são fundamentais. Vórtices adjacentes que giram no mesmo sentido juntam-se para formar uma rotação que se es-

tende sobre as regiões ativas dos pares de pás, induzindo estes vórtices. Se os vórtices possuem sentidos opostos, resulta uma melhor mistura nas regiões ativas isoladas; porém, ao custo da mistura total. Neste caso, pode ser gerada uma união de misturas entre os vórtices adjacentes por intermédio de elementos de guia adicionais (conforme DE-A-195 39 923), para o melhoramento da mistura total.

Em adição aos vórtices primários, são também formados vórtices secundários, ou seja, atrás do tubo de fixação e nas bordas livres das pás de área. Os vórtices secundários podem, reconhecidamente, contribuir para uma mistura local, porém causam perdas de pressão e efeitos de vibrações indesejáveis. Seria vantajoso se, pelo menos em parte, a ocorrência de vórtices secundários pudesse ser evitada.

O objetivo da invenção é proporcionar um misturador estático indutor de vórtice aperfeiçoado em relação a perdas de pressão e efeitos de vibração. Este objetivo é satisfeito pelo misturador definido na reivindicação 1.

O misturador estático inclui ao menos um par de pás para a geração de um turbilhão de fluxo na direção de um fluxo de passagem. As bordas das pás na frente do lado de ataque são perpendiculares ao fluxo de passagem e paralelas a um lado menor da passagem que, a seguir, é chamado resumidamente de a altura. As superfícies no fluxo acompanhando a continuidade de fluxo são encurvadas de forma côncava e em sentidos opostos. Cada pá é formada como um corpo projetado aerodinamicamente que inclui uma parede de extremidade, uma parede lateral convexa e uma parede lateral côncava. A parede de extremidade tem um formato convexo ou o formato de um bordo de ataque. Os cortes transversais das pás perpendiculares às paredes laterais têm, em particular, formatos similares ao corte transversal de asas de avião.

As reivindicações dependentes 2 a 10 relacionam-se com modalidades vantajosas do misturador, de acordo com a invenção.

A invenção será explicada a seguir, tomando como referência os desenhos. Neles, estão mostrados:

na figura 1, um misturador de acordo com a invenção;  
na figura 2, um par de pás deste misturador em uma representação um tanto simplificada;  
na figura 3 uma representação transparente do par de pás da  
5 figura 2; e  
na figura 4 um corte transversal através de uma pá.

Um misturador 1, de acordo com a invenção, conforme está mostrado tomando como referência da figura 1 a 4, inclui ao menos um par de pás como um elemento misturador 2, com o qual um turbilhão de fluxo  
10 300, cujo eixo defronta-se com a direção do fluxo de passagem 3, é gerado em um fluxo de passagem 3 em uma passagem 10. Um lado superior 10a e um lado inferior 10b da passagem 10 definem a altura da passagem 10. O par de pás 2 inclui uma primeira pá 2a e uma segunda pá 2b. As bordas das pás 2a, 2b na frente do lado de ataque são perpendiculares ao fluxo de pas-  
15 sagem 3 e paralelas à altura da passagem 10. As pás 2a e 2b possuem superfícies no fluxo ou paredes de pá 22 que seguem as bordas de frente no sentido do fluxo e que são encurvadas de uma forma côncava e em sentidos opostos. O eixo da passagem 10 define a direção principal de fluxo 30 (figura 3) do fluxo de passagem 3 na qual o turbilhão 300 defronta-se.

20 De acordo com a invenção, cada pá 2a, 2b é feita como um corpo projetado aerodinamicamente que inclui uma parede de extremidade 20, uma parede lateral convexa 21 e a parede lateral côncava 22. As seções transversais da pá transversas às paredes laterais 20, 21, 22 possuem um alinhamento variável e uma extensão longitudinal. Elas, particularmente, têm  
25 um formato similar às seções transversais das asas de avião. O alinhamento das seções transversais da pá varia entre um ângulo  $\alpha$  a um ângulo  $\beta$ , como está mostrado na figura 3. Nesta união,  $\alpha$  é vantajosamente menor que  $\beta$ . A parede de extremidade convexa 20 é um cilindro alongado 20' ou um tubo 23 na modalidade mostrada (figura 4). As placas de união 26 (figura 1) produzem uma estabilidade mecânica aperfeiçoada do par de pás 2. A parede  
30 de extremidade 20 tem um formato convexo na modalidade mostrada; no entanto, ela pode também ser moldada de modo a formar um bordo de ata-

que especial no qual partículas de pó não podem se depositar, ou podem se depositar apenas em um grau muito limitado.

As pás 2a, 2b do elemento misturador 2 formam corpos na forma de estruturas leves; elas são, em particular, corpos vazados. As paredes laterais das pás 2a, 2b são feitas, de forma vantajosa, de folhas de metal finas, cuja espessura é, por exemplo, 1 milímetro, mas podem também ser menores, por exemplo, 0,5 milímetro. Entre os lados internos das paredes laterais 2a, 2b são dispostos elementos de junção de estabilização, por exemplo, fitas de folha de metal corrugada 24 (ver figura 4), corpos espumosos (não mostrados), ou suportes. Na figura 1, são mostrados suportes como linhas tracejadas 27.

As pás 2a, 2b feitas como estruturas leves podem ser fabricadas de tal modo que, com uma altura de pá de um metro (ou também maior), elas são desprovidas de vibrações naturais cujas frequências estejam dentro da faixa de 1 a 10 Hertz. As vibrações naturais situadas além desta faixa não são excitadas pelo fluxo de passagem 3; em particular, não são excitadas as chamadas oscilações de bandeira ("Oscilação de bandeira" é uma oscilação induzida pelo fluxo que é comparável ao movimento de uma bandeira flutuando ao vento). Graças ao formato aerodinâmico das pás, durante a entrada de fluxo, o fluxo de passagem 3 entra na região dos elementos do misturador estático na qual as seções transversais de fluxo entre as pás reduzem-se continuamente. Nesta junção, um aumento da energia cinética do fluxo corresponde a uma queda de pressão. As seções transversais de fluxo subsequentemente expandem-se na forma de um difusor. Nesta junção, a pressão pode aumentar novamente sem qualquer dissipação substancial da energia cinética. A dissipação reduzida significa que são criados apenas vórtices secundários formados fracamente, pelos quais, por exemplo, não são excitadas oscilações de bandeira. As pás 2a, 2b são enrijecidas pelas estruturas leves de modo que um excitação de oscilações também está, ou totalmente ausente em razão das propriedades mecânicas modificadas, ou ao menos transferido em direção a frequências de oscilações mais altas e, por conseqüência, não críticas.

Na Patente citada DE-A-195 39 923, o uso de corpos de paredes finas, em particular aqueles de folha de metal ou de plástico, é citado como uma forma possível de estrutura dos elementos misturadores. Esta modalidade é inadequada para a construção de grandes misturadores (de uma altura de passagem de 1 ou 2 metros para cima) como os que são freqüentemente usados em unidades para redução de óxido em função de exigências em resistência e estabilidade. Este problema, de acordo com a invenção, é eliminado pelos elementos do misturador 2 do misturador 1. Não são necessárias estruturas de enrijecimento afastadas, por exemplo, nervuras, que, ou influenciam de modo desfavorável a área de fluxo ao longo das superfícies das pás ou efetuam depósitos de poeira e, em conseqüência, prejudicam a ação do misturador 1.

Pode ser realizada uma medição de aditivo de uma maneira conhecida, por intermédio de uma grade de dosagem disposta à frente dos elementos do misturador 2 na passagem 10. No entanto, resultam economias nos custos elevadas quando a medição de aditivo é integrada aos elementos do misturador 2, tal como já está proporcionada na Patente DE-A-195 39 923. Em contraste com esta forma conhecida de medição de aditivo, na qual são dispostos bocais diretamente na base das pás, comprovou-se ser mais vantajoso prover aberturas de descarga com a respectiva alimentação dos aditivos cuja direção de alimentação defronta-se em direção ou transversalmente à direção de fluxo. Tal medida não apenas tem como conseqüência um melhor efeito de mistura, mas também a alimentação fica menos sensível a um fluxo não uniforme. Em conseqüência, são proporcionadas aberturas 42 na parede de extremidade 20 ou ao lado, na vizinhança da parede de extremidade 20, como aberturas de descarga do medidor de aditivo integrado. As aberturas 42 são bocais, furos ou orifícios cortados a laser que podem, por exemplo, ser redondos, retangulares, ou em forma de fendas. O aditivo a ser medido é um fluxo secundário 4 (figura 1) que deve ser misturado no fluido primário formado através do fluxo de passagem 3. Cada uma das aberturas 42 define uma direção de alimentação 40 do fluido secundário 4 que determina um ângulo de descarga  $\sigma$  em relação à direção de

fluxo principal 30. Este ângulo de descarga  $\sigma$  tem um valor positivo que se situa na faixa entre 60 e 170°, preferivelmente entre 120 e 150°. Estudos de CFD (Fluidodinâmica Computacional) com cálculos em modelos produziram um valor ótimo para  $\sigma$  de 142,5°. O medidor de aditivo integrado pode incluir também aberturas para o fluido secundário 4 que são dispostas nas paredes laterais 21 e 22.

As aberturas 42 do medidor de aditivo são dispostas em intervalos e em níveis que foram tornados ótimos de forma teórica ou empírica com base em cálculos de modelos ou experimentais. Elas são, por exemplo, dispostas em pares e em uma simetria especular em relação ao eixo do turbilhão 300. Normalmente, no entanto, todas, ou a maioria, das aberturas 42 são situadas em diferentes níveis que podem ter diferentes intervalos.

As aberturas 42 podem ser conectadas a um conduto de fornecimento para o aditivo, ou o aditivo é fornecido diretamente ao corpo vazado da seção da pá.

Em uma modalidade particularmente vantajosa, as paredes laterais 21, 22 do par de pás 2 são conectadas por uma placa de união (sem representação de desenho), tal como é conhecido da Patente DE-A-195 39 923, que é perpendicular ao tubo. Se a placa de união é de formato triangular com lados retos, as bordas projetam-se além paredes laterais côncavas 22. Um efeito de mistura melhorado é obtido com tais bordas projetadas da placa de união, sem que ocorra um aumento em perda de pressão.

As paredes de pás 21, 22 são feitas ao menos parcialmente de metal, material cerâmico e/ou plástico. Um elemento de misturador metálico 2 pode ser revestido com um material cerâmico ou plástico.

O uso do misturador de acordo com a invenção é particularmente vantajoso quando a altura (lado menor) da passagem 10 é maior que 0,5 metro, preferivelmente maior que 1 metro. Os elementos de misturador 2 (par de pás) estendem-se vantajosamente além da altura da passagem 10, quando então são dispostos em uma fileira. Neste caso, o número de elementos de misturador 2 é, em consequência, substancialmente o mesmo do quociente da largura de passagem com a altura de passagem. Valores típi-

cos para este número estão na faixa de 2 a 8. Dependendo do número de elementos de misturador 2, resulta um grande número de – mais ou menos eficientes - diversas disposições: por exemplo, todos os elementos de misturador 2 girando de modo alternativo ou na mesma direção. É possível, assim, tornar ótima a disposição dos elementos de misturador 2 para um objetivo que resulta em relação a uma distribuição desigual de temperatura ou de concentrações, dada a condição de partida em dada situação. Os pares de pás 2 podem ser arranjados também em duas ou mais "fileiras", em vez de uma "fileira", com as "fileiras" normalmente não sendo separadas uma da outra por paredes.

## REIVINDICAÇÕES

1. Misturador estático (1) compreendendo ao menos um par de pás (2; 2a, 2b) para a geração de um turbilhão de fluxo (300) na direção (30) de um fluxo de passagem (3), dotado de ao menos duas pás (2a, 2b), em  
5 que cada pá (2a, 2b) é construída como um corpo projetado aerodinamicamente, compreendendo uma parede de extremidade (20), uma parede lateral convexa (21) e uma parede lateral côncava (22), caracterizado pelo fato de que a parede de extremidade (20) tem a forma de um bordo de ataque, de modo que os bordos de ataque das pás (2a, 2b) de um par de pás (2)  
10 estendem-se perpendicularmente para o fluxo de passagem, e cujas superfícies no fluxo seguindo o curso de fluxo são encurvadas de forma côncava e em sentidos opostos, com a parede de extremidade (20) tendo um formato convexo ou o formato de um bordo de ataque, e as pás (2a, 2b) formam corpos em formato de estruturas leves.

15 2. Misturador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as seções transversais dispostas perpendiculares às paredes laterais têm formatos similares às seções transversais de asas de avião.

3. Misturador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as estruturas leves das pás (2a, 2b) são corpos vazados.

20 4. Misturador, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que as paredes laterais (21, 22) das pás (2a, 2b) são feitas de folhas de metal finas cuja espessura tem um valor, por exemplo, de 0,5 a 1 milímetro; e nas quais são dispostos elementos de junção de estabilização entre os lados internos das paredes laterais, com os elementos de junção  
25 sendo formados de, por exemplo, suportes, fitas de folha de metal corrugada (24) ou corpos de espuma.

5. Misturador, de acordo com a reivindicação 3 ou reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que as estruturas leves possuem oscilações naturais cujas frequências estão fora, em particular, acima, da faixa de 1 a  
30 10 Hertz de modo que não podem ser excitadas oscilações nesta faixa de frequência pelo fluxo de passagem (3) e não ocorrem as chamadas oscilações de bandeira.

6. Misturador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que uma pluralidade de aberturas (42) de um medidor de aditivo integrado, em particular, bocais ou furos, é disposta nas paredes de pás (20, 21, 22), com o aditivo a ser medido sendo um fluxo secundário a ser misturado em um fluido primário formando o fluxo de passagem (3).

7. Misturador, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que as aberturas (42) são dispostas na parede de extremidade (20) ou ao lado, na vizinhança da parede de extremidade; e no qual, em particular, uma placa de união perpendicular ao tubo conecta as paredes laterais do par de pás e projeta-se pouco além das paredes laterais côncavas (22) para obter um efeito de mistura melhorado.

8. Misturador, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que as aberturas (42) definem direções de alimentação (40) do fluido secundário que determinam ângulos de descarga ( $\sigma$ ) em relação à direção do fluxo principal (30); e em que estes ângulos de descarga têm um valor que se situa na faixa entre 60 e 170°, preferivelmente entre 120 e 150°.

9. Misturador, de acordo com qualquer das reivindicações 6 a 8, caracterizado pelo fato de que as aberturas (42) são dispostas a intervalos em níveis que foram tornados ótimos com base em cálculos de modelos ou experimentais.

10. Misturador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que as paredes de pás (21, 22) são feitas, ao menos parcialmente, de metal, material cerâmico e/ou plástico.

11. Misturador, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que o lado menor da passagem (10) é maior que 0,5 metro, preferivelmente maior que 1 metro; e em que os pares de pás (2) são dispostos em uma fileira, com eles se estendendo além do lado menor da passagem; ou em que os pares de pás são dispostos em duas ou mais fileiras.

Fig.1

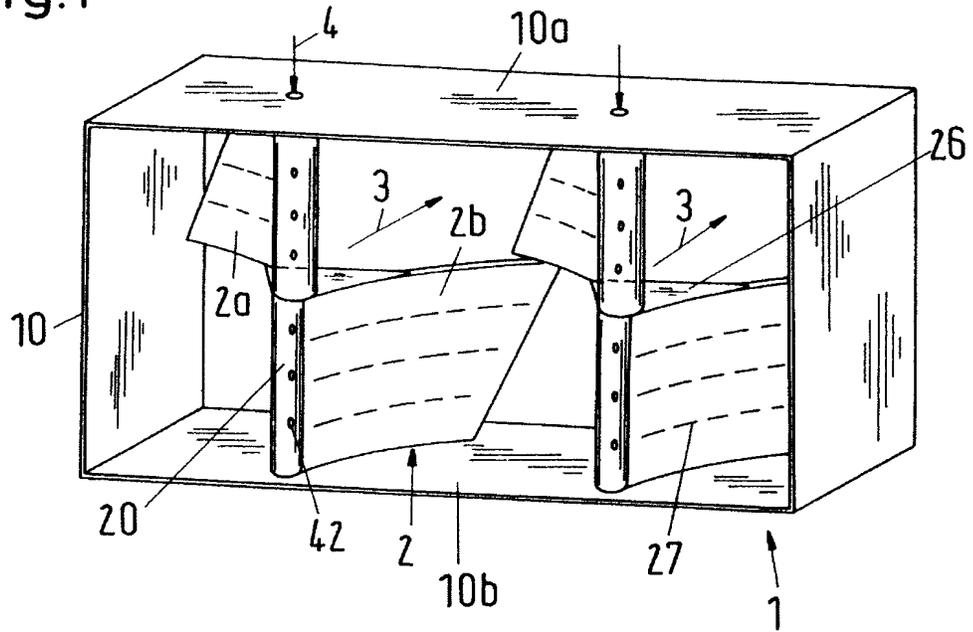


Fig.2

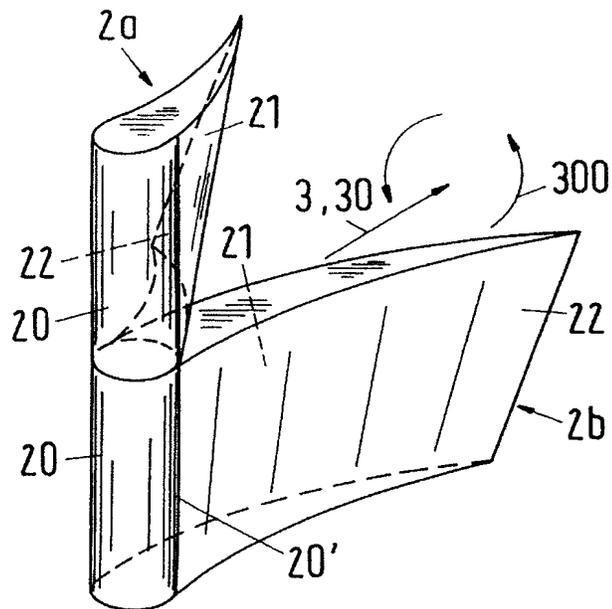


Fig.3

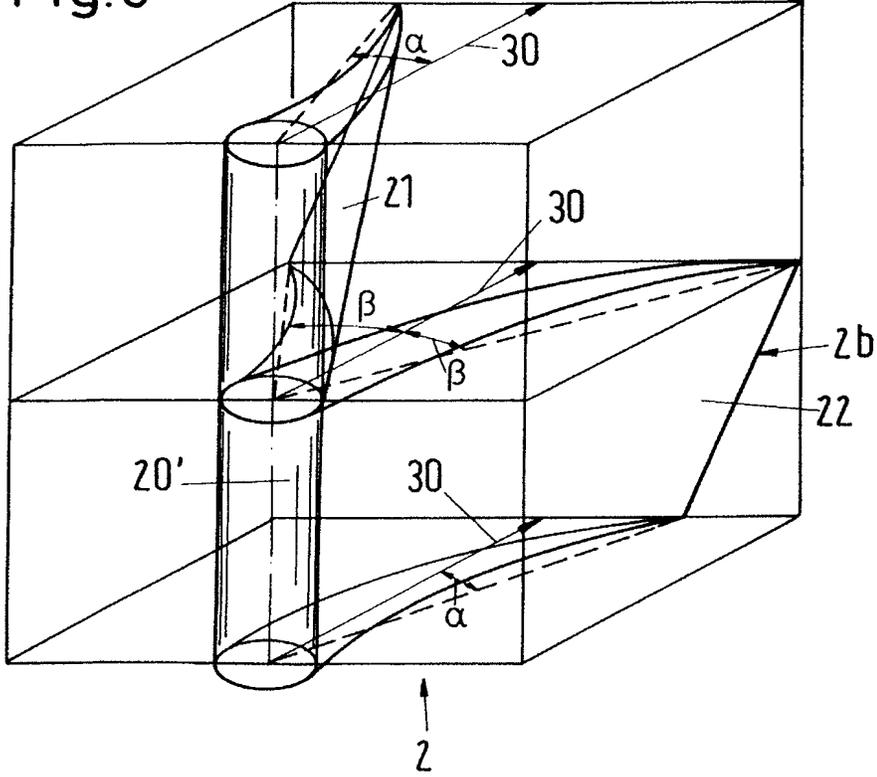
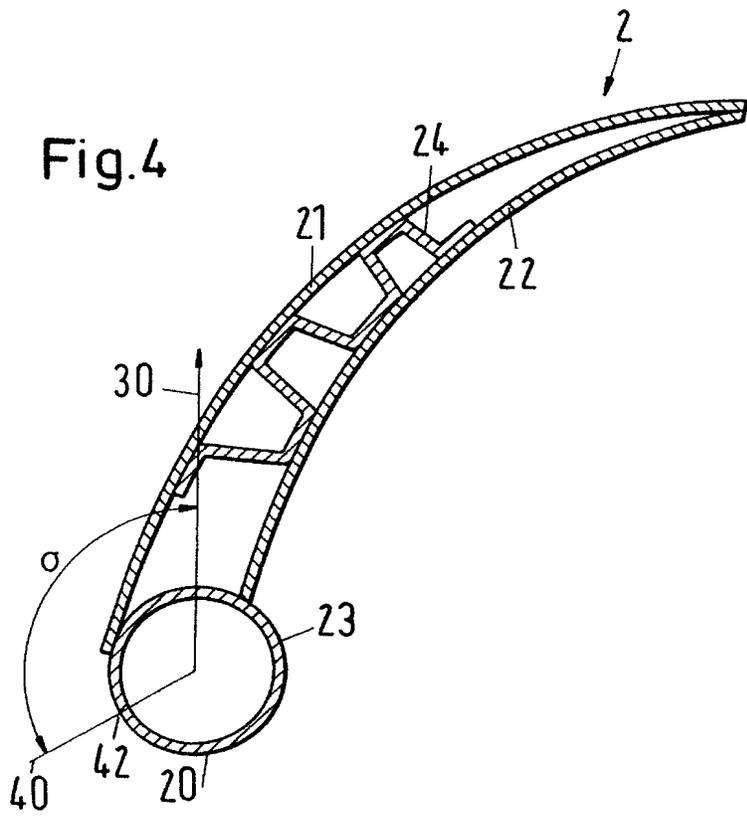


Fig.4



## RESUMO

Patente de Invenção: **"MISTURADOR ESTÁTICO DOTADO DE UM PAR DE PÁS PARA A GERAÇÃO DE UM TURBILHÃO DE FLUXO NA DIREÇÃO DE UM FLUXO DE PASSAGEM"**.

5                   A presente invenção refere-se a um misturador estático (1) que inclui ao menos um par de pás (2; 2a, 2b) para a geração de um turbilhão de fluxo (300) na direção (30) de um fluxo de passagem (3). As bordas das pás na frente do lado de ataque são perpendiculares ao fluxo de passagem e paralelas a uma altura da passagem (10). Superfícies no fluxo seguindo a  
10 direção de fluxo são encurvadas de uma forma côncava e em sentidos opostos. Cada pá (2a, 2b) é formada como um corpo projetado aerodinamicamente que inclui uma parede de extremidade (20), uma parede lateral convexa (21) e uma parede lateral côncava (22). A parede de extremidade tem um formato convexo ou um formato de um bordo de ataque. As seções  
15 transversais de pá perpendiculares às paredes laterais possuem, em particular, formatos similares às seções transversais de asas de avião.