



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

(21) PI 1106004-2 A2



(22) Data de Depósito: 21/12/2011  
(43) Data da Publicação: 09/04/2013  
(RPI 2205)

(51) *Int.Cl.:*

B01J 19/32

B01J 35/06

B01D 53/14

B01D 47/14

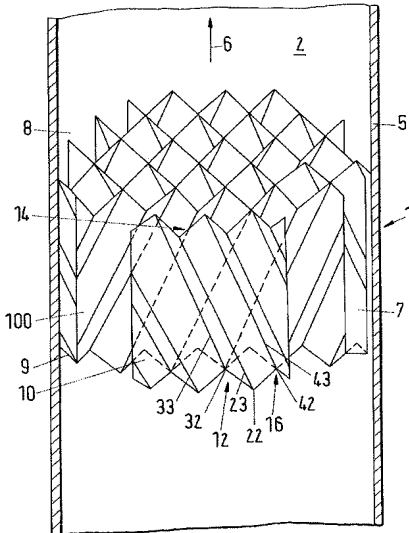
(54) **Título:** MÉTODO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA, GUARNIÇÃO ESTRUTURADA E APARELHO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA PARA UMA CARGA DE LÍQUIDO PEQUENA

(30) **Prioridade Unionista:** 22/12/2010 EP 10 196386.6

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

(72) **Inventor(es):** Ilja Ausner, Markus Duss, Werner Wicki

(57) **Resumo:** MÉTODO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA, GUARNIÇÃO ESTRUTURADA E APARELHO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA PARA UMA CARGA DE LÍQUIDO PEQUENA. A presente invenção refere-se a um método de transferência de massa que inclui os passos de: alimentar um primeiro fluido e um segundo fluido a um aparelho de transferência de massa, em que sendo que o aparelho de transferência de massa inclui um recipiente que tem uma região de cabeça, uma região de base e uma região de transferência de massa, em que o primeiro fluido é oposto em contato com o segundo fluido pelo menos na região de transferência de massa, em que a região de transferência de massa está disposta entre a região de cabeça e a região de base e a região de transferência de massa inclui uma guarnição estruturada, que inclui uma pluralidade de camadas adjacentes de tecido, que inclui fios de fibra de um material não metálico. O aparelho de transferência de massa é operado a uma carga de fluido de no máximo  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ . O tecido da guarnição estruturada inclui fios de fibra de um material metálico, que estão formados como fios de trama, em que os fios de trama têm uma contagem de fios de pelo menos 100 g/1000m e os fios de trama incluem pelo menos 20fios/25,4 mm.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA, GUARNIÇÃO ESTRUTURADA E APARELHO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA PARA UMA CARGA DE LÍQUIDO PEQUENA"**.

5           A presente invenção refere-se a um método de transferência de massa, a uma guarnição estruturada, que é usada no método de transferência de massas, bem como a um aparelho de transferência de massa com a guarnição estruturada para uma carga de líquido pequena. Particularmente, o aparelho de transferência de massa pode estar configurado como um aparelho de absorção ou como uma coluna de destilação.

          Guarnições estruturadas são usadas como instalações em aparelhos de transferência de massa, tais como, por exemplo, colunas de destilação ou colunas de absorção. Servem para o aperfeiçoamento da transferência de massa entre gases e líquidos, particularmente, em aplicações, nas  
15       quais a carga de líquido é pequena e/ou a tensão superficial do líquido é alta. Uma guarnição estruturada é tipicamente construída de elementos de paredes finas, dispostas em uma disposição regular predefinida, na qual o fluido está presente como gotas ou filme. Esses elementos de paredes finas estão dispostos e transferência de massa, de modo que podem ser permea-  
20       dos pelo gás. O gás entra em contato com o líquido, que está presente na superfície do elemento de paredes finas, quando ele corre através do aparelho de transferência de massa. Durante esse contato, um componente enriquecido no gás pode transferir-se para o líquido ou vice versa, o que significa que pode ocorrer uma transferência de massa.

25           A quantidade de transferência de massa por tempo unitário é proporcional à superfície de limite do gás e do líquido. A superfície de limite é tanto maior quanto maior for a proporção da superfície da guarnição que é umedecida pelo líquido.

          Para o método de transferência de massa, isto é, por exemplo, o  
30       método de destilação ou o método de absorção, são usadas guarnições estruturas para gerar uma superfície de transferência de massa a maior possível entre dois fluidos. Para esse fim, um fluido corre diretamente sobre a su-

perfície da guarnição como líquido e o outro fluido corre para as passagens da guarnição, formadas pelos elementos de paredes finas, em contracorrente, como fase gasosa. Os dois fluidos estão em contato direto um com o outro e em suas superfícies de limite de fase estão em troca/transferência de energia e/ou massa um com o outro. Por essa razão, para uma transferência de massa e/ou troca de energia ideal, é necessário que o líquido esteja presente sobre toda a superfície de guarnição disponível, para formar uma superfície de limite de fase a maior possível.

Mas, justamente, essa necessidade, por exemplo, nem sempre é satisfeita para cargas de líquido baixas. Uma carga de líquido baixa significa que, precisamente, que líquido é guiado através do aparelho de transferência de massa em uma quantidade tal que, no melhor caso, a superfície da guarnição da guarnição estruturada é umedecida como um filme, o que significa que o total da superfície de guarnição da guarnição forma uma superfície de limite de fase. A corrente de volume de líquido por área de superfície de coluna é considerada como sendo a carga de líquido  $L$ . Particularmente em aplicações com cargas de líquido muito pequenas, em combinação com líquidos umedecidos de modo deficiente, com altas tensões de superfície, ou seja, por exemplo, para sistemas aquosos, ocorre que apenas uma fração da superfície de guarnição é umedecida com líquido e, desse modo, a superfície de limite de fase para o transporte de energia e o transporte de massa é drasticamente reduzida.

Uma boa umectabilidade é dada por guarnições estruturadas com uma estrutura de passagem transversal de camadas de tecido dobradas. Essa estrutura de passagem transversal está descrita, por exemplo, no documento DE 1442714.

De acordo com o documento GB 451014, tecidos com materiais de fibra que têm uma alta capilaridade devido às distâncias muito pequenas entre fibras e, por essa razão, tem uma aptidão muito boa para umedecimento, têm se mostrado particularmente vantajosos. Esses materiais de fibra podem, por exemplo, ser compostos de vidro ou basalto, de acordo com o documento EP 531255 A1. Para garantir a estabilidade mecânica de uma

guarnição estruturada feita de um material de fibra, as fibras são tecidas junto com outros materiais, tais como fios de aço ou de plástico, tal como é mostrado no documento DE 1442714 ou DE 2434082 ou também é estendida sobre uma construção de armação correspondente, tal como está descrito no documento DE 1769739.

Guarnições de tecido também são usadas vantajosamente para aplicação em sistemas aquosos. Por exemplo, uma pluralidade de guarnições feitas de tecidos metálicos puros é, portanto, mencionada no documento EP 2119713 a1, para a destilação de um sistema aquoso. No documento US 7411098 também estão previstas guarnições de tecido pequenas para a destilação aquosa.

Do documento EP-A-1477224 é conhecida uma guarnição de passagem transversal, que é feita de um tecido metálico, que é operado com uma carga de fluido específica baixa. A carga de fluido específica é determinada pela relação da carga de fluido  $L$  para a superfície específica  $a$  da guarnição. De acordo com o documento EP-A-1477224, a relação de  $L/a$  situa-se abaixo de um valor máximo de 10 l/mh. A superfície específica  $a$  é definida como a relação da superfície da guarnição para o volume que é recebido pela guarnição. A relação de  $L/a$  também é referida como carga de margem. Em geral, uma carga de margem grande leva a um bom umedecimento da superfície da guarnição, uma vez que uma quantidade específica de líquido incide sobre uma pequena região da superfície da guarnição. Mas, uma carga de margem pequena ocorre para a mesma carga de fluido e áreas muito maiores da superfície da guarnição e, normalmente, leva a que fique disponível um umedecimento significativamente pior da superfície da guarnição.

Foi mostrado, no entanto, que essa guarnição feita de um tecido metálico geral um filme na forma de uma tira estreita na superfície da guarnição, o que significa que apenas uma proporção muito pequena da superfície da guarnição é umedecida quando a carga de fluido é pequena e/ou o líquido tem uma tensão superficial grande, isto é, de preferência, tem uma tensão superficial maior que 30 mN/m, particularmente, maior que 50 mN/m.;

O documento EP 0416649 A descreve uma camada de tecido para uma guarnição estruturada, de acordo com o qual fios capilarmente ativos nos fios da trama têm um bom comportamento de umedecimento, isto é, o líquido pode ser mais bem distribuído na direção horizontal. Isso é obtido por fios de trama feitos de um material não metálico. A guarnição ou elementos de enchimento da coluna, de acordo com o documento EP 0416649 A ganham uma capacidade de autos separação e tornam supérfluos distribuidores de líquido separados. A camada de tecido de acordo com EP 0416649 A, de acordo com pesquisas realizadas pelo depositante, não tiveram uma aplicação comercial. Além disso, um distribuidor de líquido tem de estar basicamente presente para distribuir a fase líquida uniformemente sobre a guarnição, portanto, a vantagem citada no documento EP 0416649 A parece não ter provada sua utilização prática. Qualquer comparação entre a camada de tecido da invenção com a camada de tecido do documento EP 0416649 A, portanto, não é possível, pelas razões mencionadas acima.

Um elemento de guarnição para um reator catalítico também é mostrado no documento EP 1 308 204 A1, mostrando uma guarnição de canais transversais. Uma camada de tecido está disposta entre camadas adjacentes da guarnição de canais transversais. A camada de tecido é usada para realização da catálise e está formada como uma camada intermediária. Fios de urdume e fios de trama dessa camada intermediária podem conter fios de tecido. O problema a ser solucionado de acordo com o documento EP 1 308 204 A1 era obter uma camada, pela qual a catálise possa ser realizada, portanto, não é necessário aumentar a umectabilidade da guarnição. Camadas de tecido de configuração similar teriam de ser previstas, que deveriam ser dispostas próximas uma à outra e em contato uma com a outra em pontos de contato, para influenciar-se reciprocamente. Essa interação não é possível para um elemento de guarnição de acordo com o documento EP 1 308 204 A, uma vez que não estão previstas camadas de tecido adjacentes. As camadas de tecido estão dispostas entre membranas de formato definido, portanto, as camadas de tecido não estão dispostas próximas umas das outras.

Por essa razão, é um objeto da invenção pôr à disposição um método de transferência de massa, bem como uma guarnição estruturada para realizar o método de transferência de massa, bem como um aparelho de transferência de massa para realizar o método de transferência de massa, sendo que a proporção da superfície de guarnição umedecida pode ser aumentada por meio da guarnição estruturada.

Esse objeto é atendido por meio de um método de transferência de massa que inclui os seguintes passos: fornecer um primeiro fluido e um segundo fluido a um aparelho de transferência de massa, sendo que o aparelho de transferência de massa inclui um recipiente, que tem uma região de cabeça, uma região de base e uma região de transferência de massa, sendo que o primeiro fluido e posto em contato com o segundo fluido pelo menos na região de transferência de massa, sendo que a região de transferência de massa está disposta entre a região de cabeça e a região de base e a região de transferência de massa inclui uma guarnição estruturada, que inclui uma pluralidade de camadas de tecido adjacentes, que inclui fios de fibra de um material não metálico. O aparelho de transferência de massa é operado a uma carga de fluido de, no máximo,  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , de preferência, a uma carga de fluido de, no máximo,  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . As camadas adjacentes estão dispostas próximas uma da outra.

Particularmente, um do primeiro fluido ou do segundo fluido tem uma tensão superficial de pelo menos  $30 \text{ mN/m}$ , de preferência, de pelo menos  $50 \text{ mN/m}$ .

De acordo com o método de acordo com as modalidades precedentes, o fluido inclui água, aminas, amidas, particularmente, dimetil formamida, álcoois mono-hídricos ou poli-hídricos, particularmente, álcoois de ácidos graxos, monoetileno glicol, dietileno glicol, trietileno glicol, tetraetileno glicol, monômeros de plásticos, particularmente, MDI (difênil metano di-isocianato) DMT (dimetil tereftalato), ácidos carboxílicos, particularmente, ácidos graxos, ésteres, particularmente, ésteres de ácido graxo ou misturas de pelo menos dois dos componentes mencionados previamente.

Uma guarnição estruturada para um aparelho de transferência

de massa de acordo com a invenção tem uma região de cabeça e uma região de base. A guarnição estruturada inclui uma pluralidade de camadas adjacentes, que formam, em cada caso, um lado superior, que está voltado para a região de cabeça e camadas essas que formam, em cada caso, um lado inferior. O lado inferior está voltado para a região de base. A camada tem um elemento de parede, que se estende entre o lado superior do lado inferior. O lado inferior está voltado para a região de base. A camada tem um elemento de parede, que se estende entre o lado superior e o lado inferior. O elemento de parede está formado como um tecido, que inclui fios de fibra de um material não metálico, que estão formados como fios de trama, sendo que os fios de trama têm uma contagem de fios de pelo menos 100 g/1000 m e os fios de trama incluem pelo menos 20 fios/25,4 mm.

De acordo com uma modalidade preferida, pelo menos dois fios de fibra feitos de um material não metálico estão dispostos de modo diretamente adjacente um ao outro. Particularmente, a superfície específica da guarnição perfaz de  $0 \text{ m}^2/\text{m}^3$  até, no máximo,  $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Fios metálicos podem estar dispostos entre os fios de fibra de material não metálico. Os fios de trama podem estar entrelaçados com fios de urdume, sendo que pelo menos uma parte dos fios de urdume é feita de fios metálicos. Os fios de fibra de material não metálico podem incluir vidro, basalto ou um polímero. Os fios metálicos incluem, de preferência, aço inoxidável, titânio, hastelloy, duplex, tântalo ou podem ter um revestimento. O revestimento pode servir, particularmente, para aumentar a resistência à corrosão.

A guarnição estruturada de acordo com uma modalidade preferida tem uma camada com uma parede que tem uma seção ondulada, através da qual é formada uma pluralidade de canais abertos, que se estendem do lado superior da guarnição para o lado inferior da guarnição, sendo que os canais incluem um primeiro cavado de onda, uma primeira crista de onda e uma segunda crista de onda. A primeira crista de onda e a segunda crista de onda limitam o primeiro cavado de onda. A primeira crista de onda e a segunda crista de onda têm um primeiro pico e um segundo pico.

Particularmente, o aparelho de transferência de massa inclui uma guarnição estruturada de acordo com uma das modalidades precedentes. O aparelho de transferência de massa pode, particularmente, estar configurado como um aparelho de absorção ou como uma coluna de destilação.

- 5 O aparelho de transferência de massa de acordo com uma das modalidades precedentes tem uma região de cabeça, uma região de base e uma região de transferência de massa disposta entre a região de cabeça e a região de base, sendo que um distribuidor de fluido está disposto no aparelho de transferência de massa, de modo que o primeiro fluido pode ser distribuído sobre o lado superior da guarnição estruturada por meio do distribuidor de fluido, sendo que o primeiro fluido é aplicável na superfície da parede das camadas da guarnição estruturada como um filme e com referência a isso pode ser posto em contato com um segundo fluido, que corre em corrente inversa com relação ao primeiro fluido. O fluido inclui, particularmente,
- 10 água, aminas, amidas, particularmente, dimetil formamida, álcoois monohídricos ou poli-hídricos, particularmente, álcoois de ácidos graxos, monoetileno glicol, dietileno glicol, trietileno glicol, tetraetileno glicol, monômeros de plásticos, particularmente, MDI (difetil metano di-isocianato) DMT (dimetilteftalato), ácidos carboxílicos, particularmente, ácidos graxos, ésteres, particularmente, ésteres de ácido graxo. O fluido também pode, particularmente,
- 15 incluir misturas de pelo menos dois dos componentes acima mencionados. Com referência a isso, o termo poli-hídrico também inclui, particularmente, o termo bivalente, isto é, também inclui um diol.

- Uma guarnição estruturada de acordo com uma das modalidades seguintes leva a uma exploração aperfeiçoada da superfície de guarnição, em comparação com os fios metálicos usados até agora.
- 25

Como tecidos metálicos puros têm apenas uma baixa capilaridade, o tecido inclui uma camada que inclui fios de fibra de um material não metálico, que estão configurados como fios de trama.

- 30 Além disso, tecidos metálicos puros são significativamente mais caros em sua aquisição, em comparação com uma guarnição de tecido com pelo menos uma parte de fios de fibra.

A invenção inclui um aparelho de transferência de massa com uma guarnição estruturada de um tecido que inclui fios metálicos e fios de fibra que, particularmente para aplicações de destilação e aplicações de absorção, com cargas de fluido muito pequenas de, no máximo,  $3 \text{ m}^2/\text{m}^2\text{h}$ , de preferência, de, no máximo,  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  e sistemas aquosos, leva a um aumento da superfície de limite de fase e, portanto, possibilita uma transferência de energia mais alta e/ou uma transferência de massa aperfeiçoada, em comparação com guarnições estruturadas convencionais. A guarnição híbrida é particularmente vantajosa para aplicações, nas quais a carga de margem é menor do que  $10 \text{ l/mh}$ , particularmente, menor do que  $2 \text{ l/mh}$ . O valor de limite inferior para a carga de margem situa-se, vantajosamente, em pelo menos  $0,2 \text{ l/mh}$ .

A seguir, a invenção é explicada com referência aos desenhos.

Mostram:

figura 1 um aparelho de transferência de massa que inclui uma guarnição estruturada de acordo com a invenção

figura 2 uma modalidade de uma guarnição estruturada de acordo com a invenção

figura 3 uma ilustração do umedecimento de uma guarnição estruturada convencional

figura 4 uma ilustração do umedecimento de uma guarnição estruturada de acordo com a invenção

figura 5 uma ilustração de uma distribuição do líquido da guarnição de acordo com a invenção, em comparação com uma guarnição conhecida da técnica anterior

figura 6 uma comparação do desempenho de separação da guarnição de acordo com a invenção com o da técnica anterior

figura 7 uma comparação entre uma guarnição de metal de chapa, uma guarnição de tecido metálico e uma guarnição de tecido híbrido para a absorção de DMF

figura 8 uma variante da guarnição de acordo com a invenção.

A figura 1 mostra um aparelho de transferência de massa, que

inclui uma guarnição estruturada 7. A guarnição estruturada 7 inclui algumas camadas 10, 100 que formam um corpo de guarnição. Um meio para transferência de massa entre duas fases de fluido é entendido como sendo uma guarnição estruturada 7. A guarnição estruturada 7j é usada em um aparelho de transferência de massa 2. O aparelho de transferência de massa pode estar configurado, particularmente, como uma coluna 5, que pode ser usada para destilação, retificação, absorção ou dessorção.

O aparelho de transferência de massa tem uma região de cabeça e uma região de base. A guarnição estruturada 7 inclui pelo menos uma camada 10, 100, que forma um lado superior, que está voltado para a região de cabeça e um lado inferior, que está voltado para a região de base. A camada tem um elemento de parede que se estende entre o lado superior e o lado inferior.

Em geral, a guarnição estruturada 7 inclui uma pluralidade de camadas 10, 100, que estão associadas uma à outra em uma relação geométrica repetitiva, regular. A distância de camadas adjacentes pode ser selecionada como um exemplo dessa relação geométrica. A distância entre camadas adjacentes pode ter o mesmo valor, periodicamente, devido à relação geométrica, de modo que da soma das camadas é formada uma estrutura, que está caracterizada por distâncias de separação idênticas ou, pelo menos periodicamente, iguais. A periodicidade é encontrada na guarnição estruturada total, com o que a guarnição obtém uma estrutura regular. A estrutura pode, particularmente, estar configurada como uma seção ondulada.

As camadas 10, 100 de acordo com a figura 1 estão compostas de elementos de paredes finas, que têm uma seção ondulada. A seção ondulada está caracterizada por uma sequência periodicamente recorrente de elevações, i.e, cristas de onda e cavidades semelhantes a depressões, isto é, cavados de onda. Essa seção ondulada pode estar configurada, particularmente, como uma dobradura, com uma seção em ziguezague com bordas adelgaçadas ou com cristas de onda e/ou com cavados de onda com um raio. As camadas estão dispostas uma em relação à outra de modo que a seção ondulada de duas camadas adjacentes está inclinada em um ângulo à

direção de corrente principal. Por essa razão, as seções onduladas de camadas 10, 100 adjacentes estão dispostas transversalmente uma à outra.

A primeira camada 10 e a segunda camada 100 estão compostas, em cada caso, de um elemento de parede que está configurado como tecido, que inclui fios de material não metálico. Nesse contexto, esse elemento de parede pode incluir o comprimento total ou, no entanto, formar apenas uma parte do mesmo. O elemento de parede pode ter o formato de uma placa plana. Alternativamente, os elementos de parede podem ter uma seção ondulada, particularmente, ter uma seção em ziguezague ou uma seção ondulada com picos arredondados e fundos em depressões.

A primeira camada 10 e a segunda camada 100 são mostradas em uma vista na figura 1, que mostra o lado superior 8 da guarnição 7. O lado superior 8 da guarnição 7 está essencialmente de modo normal à direção de corrente principal 6. A direção de corrente, na qual corre um fluido mais volátil, é referida como a direção de corrente principal 6, particularmente, um gás que corre para cima na coluna sem peças inseridas, isto é, um gás que corre na direção da cabeça da coluna 5. A direção oposta à direção de corrente principal é a direção na qual corre um fluido menos volátil, o que, em geral, significa um líquido que corre através da coluna sem peças inseridas, isto é, corre na coluna em queda livre. A direção de corrente pode divergir localmente da direção de corrente principal na guarnição, uma vez que a corrente pode ser desviada pelas camadas na guarnição.

A primeira camada 10 da guarnição estruturada 7 tem uma seção ondulada, sendo que uma pluralidade de canais 12, 14, 16 é formada pela seção ondulada. Os canais incluem, ainda, um primeiro cavado de onda 22, um primeiro pico de onda 32 e um segundo pico de onda 42. O primeiro pico de onda 32 e o segundo pico de onda 42 limitam o primeiro cavado de onda 22. O primeiro pico de onda 32 e o segundo pico de onda 42 têm uma primeira crista 33 e uma segunda crista 43. O primeiro cavado de onda 22 tem um fundo 23 de depressão. O primeiro cavado de onda 22 tem um fundo 23 de depressão, sendo que a distância normal da primeira crista 33 para o fundo de depressão 23 do cavado de onda 22 é igual à distância normal da

segunda crista 43 do fundo de depressão 23 do cavado de onda 22.

A distância normal entre a primeira crista 33 do primeiro pico de onda 32 e o fundo de depressão 23 do primeiro cavado de onda 22 também é referida como altura de onda. A altura de onda é igual à distância normal.

- 5 Em uma camada de acordo com a modalidade da invenção mostrada, a altura de onda é essencialmente constante, isto é, é menor em uma região de tolerâncias típicas, que se situam em uma região de 0,5 mm.

- A segunda camada 100 da guarnição estruturada 7 tem uma seção ondulada, sendo que a seção ondulada está configurada de modo idêntico à seção da camada 10, mas está inclinada em um ângulo diferente à direção de corrente principal.

- Na figura 2 está ilustrada uma seção de um elemento de parede de uma camada de uma guarnição estruturada de acordo com a invenção. Camadas dobradas em formato de lâminas individuais formam uma estrutura de canal transversal quando são colocadas uma ao lado da outra, tal como está mostrado na figura 1. A camada 10 está composta de fios metálicos em uma direção de tecitura e de fios de fibra de um material não metálico, por exemplo, fios de fibra de vidro ou de basalto, na outra direção de tecitura. Vantajosamente, os fios metálicos são fios de trama, os fios de fibra formam, vantajosamente, os fios de urdume. Nesse contexto, os fios metálicos garantem uma deformabilidade e estabilidade mecânica suficiente das camadas dobradas e os fios de fibra garantem a alta capilaridade, que leva à umectabilidade desejada.

- Os fios de trama tem uma espessura de fio de pelo menos 100 g/1000 m, que corresponde a 100 tex. Os fios de trama para essa espessura de fio incluem pelo menos 20 fios/25,4 mm (= 1 polegada [2,54 cm]).

- Os fios de fibra de material não metálico podem incluir, particularmente, fios de fibra de vidro ou basalto ou de polímeros. Fios metálicos podem ser entrelaçados, além dos fios de fibra de material não metálico, para aumentar a resistência da camada contra influências químicas, tal como, por exemplo, corrosão, ou influências térmicas, tal como, por exemplo, temperatura, ou influências mecânicas, tal como, por exemplo, pressão. Os

fios metálicos podem incluir aço inoxidável, titânio, hastelloy, duplex, tântalo ou incluir um revestimento

Para aperfeiçoamento do umedecimento, pelo menos dois fios de fibra de um material não metálico podem ser dispostos diretamente um  
5 ao lado do outro.

Vantajosamente, também três, de modo particularmente preferido,, cinco fios de fibra podem ser dispostos diretamente um ao lado do outro, tal como é mostrado na figura 2. Fios metálicos, por sua vez, podem estar dispostos entre uma pluralidade de fios de fibra de material não metálico.  
10 Quando os três fios de fibra estão dispostos diretamente um ao lado do outro, é configurada a guarnição de tecido híbrido, particularmente, como tecido de três eixos, quando cinco fios de fibra estão dispostos diretamente um ao lado do outro, o tecido híbrido está configurado, particularmente, como um tecido de cinco eixos.

15 Os fios de trama estão entrelaçados por fios de urdume, sendo que pelo menos uma parte dos fios de urdume está configurada como fios metálicos. De preferência, a orientação dos fios de trama ocorre na direção de corrente principal.

Quão bem a camada de tecido é umedecida fica evidente em um  
20 teste de umedecimento usando um fio de água, tal como está ilustrado na figura 3 e na figura 4; uma camada não dobrada, com um tecido metálico puro e uma camada não dobrada de tecido de acordo com a invenção são estendidas perpendicularmente e um fio de água é aplicado seletivamente no limite superior. Nesse contexto, não dobrada significa que a camada tem  
25 uma superfície plana. Para essa camada de tecido metálico puro, foi constatado que o fio de água move-se, predominantemente, sobre a superfície do tecido e não é absorvido pelo tecido, veja figura 3. A expansão do fio de água é pequena e a largura do fio de água corresponde, aproximadamente, à largura no ponto de aplicação sobre todo o comprimento da corrente.

30 Contrariamente a isso, uma expansão do fio de água ocorre sobre o tecido da camada de tecido com fios de fibra, tal como está mostrada na figura 4. Do ponto de aplicação, a água é aspirada para dentro do tecido

e expande-se no e sobre o tecido. A corrente não só ocorre na superfície do tecido, mas, predominantemente, também ocorre no interior do tecido. Para essa aplicação, essa circunstância significa uma superfície de limite de fase mais alta e um tempo de retenção aumentado para o líquido na guarnição.

5 Quando a corrente de volume do líquido aumenta, o líquido excedente corre, correspondentemente, ao longo das superfícies externas do tecido. Desse modo, o tempo de retenção do líquido sobre o tecido é reduzido de até uma pluralidade de minutos para alguns segundos. Consequentemente, particularmente para sistemas nos quais a velocidade da transferência  
10 cia de massa é essencialmente dependente da velocidade de retenção no líquido, não pode ocorrer uma transferência de massa ou a mesma ocorre parcialmente, de modo que é necessária uma altura de guarnição maior ou uma pluralidade de guarnições precisa ser disposta. Esse sistema também é referido como limitador de líquido, uma vez que é a velocidade de retenção  
15 do componente de transferência dentro do líquido que determina a quantidade de transferência de massa por tempo unitário.

A figura 5 mostra a distribuição de uma corrente de líquido no lado inferior de uma pluralidade de camadas dobradas de uma guarnição estruturada para um tecido metálico e um tecido misto, com fios de trama  
20 que incluem fios de fibra de fibras de vidro. Nesse contexto, uma camada com uma seção ondulada é entendida como uma camada dobrada, tal como está descrita em associação com a figura 1. O líquido corrente tem, de preferência, uma tensão superficial grande, o líquido pode ser, particularmente, água. A distribuição do líquido sobre o comprimento da margem da camada  
25 é mostrada na abscissa. O comprimento da margem é a largura da camada, isto é, a extensão da camada em um plano, que se estende de modo normal à direção de corrente principal, isto é, estende-se na direção do eixo longitudinal do aparelho de transferência de massa.

A quantidade de água que é coletada e medida em uma determinada região do comprimento da margem é mostrada na ordenada. O ponto de aplicação do líquido está localizado aproximadamente no centro da abscissa. Uma linha vertical mostra a posição da introdução de líquido sobre  
30

as camadas de guarnição, isto é, analogamente ao ponto de aplicação das figuras 3 ou 4.

A distribuição do líquido é mostrada como uma linha cheia para o tecido metálico, para o tecido híbrido, a distribuição de líquido é mostrada  
5 como uma linha pontilhada. A corrente de líquido é desviada pelos canais inclinados da estrutura de canais transversais, tal como é mostrado na figura 3 ou na figura 5. Interessantemente, o líquido só sofre um desvio da direção de corrente principal no tecido metálico, e, na verdade, na direção dos canais abertos da camada dobrada sobre a qual o líquido é aplicado. Uma  
10 transferência da corrente de líquido para as camadas adjacentes aparentemente não ocorre. A distribuição do líquido fica em uma região estreita, que corresponde ao comportamento de corrente mostrado na figura 3.

O líquido no tecido híbrido não se distribui de acordo com uma direção preferida, mas, de preferência, a distribuição ocorre de modo relati-  
15 vamente uniforme na metade esquerda e na metade direita da margem e das inclinações dos canais adjacentes em proporções aproximadamente iguais. Disso, pode ser tirada a conclusão de que o líquido passa por uma expansão aperfeiçoada, devido aos fios de fibra. Os fios de fibra são umede-  
cidos pelo líquido, uma corrente de líquido é formada dentro dos fios de fibra  
20 bem como na superfície da camada da guarnição. Camadas adjacentes absorvem o líquido mais facilmente nos pontos de contato. Desse modo, o líquido pode chegar mais facilmente de uma camada para uma camada adjacente e, por essa razão, ele é distribuído melhor sobre a camada.

O efeito de sucção não está presente na guarnição de tecido  
25 metálico. Por essa razão, ocorre uma distribuição inferior da corrente de fluido nesse tecido, que é confirmada pela distribuição unilateral do líquido na figura 5 para o tecido metálico.

Um outro teste é realizado em uma coluna de destilação com um diâmetro interno de 250 mm e diversos metros de altura de guarnição; o sis-  
30 tema de teste muito bem conhecido cis/trans-Dekalin (U. Onken, W. Arlt: "Recommended test mixtures for distillation columns", The Institution of Chemical Engineers, 1990) é separado por destilação a 10 mbar de pressão

de cabeça e refluxo total. A especialidade a essa pressão de cabeça baixa, ou esse vácuo alto é a ocorrência de cargas de fluido muito pequenas na região de, no máximo,  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , de preferência, no máximo,  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Um desempenho de separação significativamente aperfeiçoado com a guarnição de tecido com fios de fibra é encontrado especificamente para essa região, com relação a uma guarnição de tecido metálico puro de geometria igual à que está ilustrada na figura 6. A figura 6 mostra diversos passos de separação por metro de NTSM na dependência da velocidade do fluido mais volátil dentro da coluna, que é expressa pelo fator  $F$ . O fator  $F$  é dado pela raiz da densidade do segundo fluido multiplicada pela velocidade com a qual o segundo fluido corre através do aparelho de transferência de massa. Nesse contexto, o segundo fluido é o fluido mais volátil, cuja direção de corrente estende-se da região de base para a região de cabeça do aparelho de transferência de massa. A linha cheia indica o número de passos de separação por metro (NTSM) para uma guarnição estruturada, que está configurada como um tecido metálico puro, a linha pontilhada indica o NTSM para uma guarnição estruturada com dimensão geométrica igual e formato que está configurado como tecido com fios de fibra.

Tanto para a guarnição de tecido metálico como também para a guarnição de tecido com fios de fibra de um material não metálico, é verdade que para fatores  $F$  menores o número de passos de separação teóricos por metro aumenta.

A guarnição de tecido com fios de fibra de um material não metálico está caracterizada por um número alto de passos de separação teóricos por metro. Desse modo, é mostrado que uma eficiência de separação mais alta é obtida por essa guarnição estruturada.

Um outro exemplo de aplicação é a seção de lavagem de um aparelho de absorção para  $\text{CO}_2$ . Esses aparelhos de absorção estão tipicamente configurados como colunas de absorção. Frequentemente, são usadas aminas em uma coluna de absorção para a separação de  $\text{CO}_2$  de correntes de gás de escape. Os mesmos, na verdade, possuem uma pressão de vapor baixa, mas ainda são encontradas em pequenas concentrações em

alimentação de gás de escape de  $\text{CO}_2$  de acordo com a pressão de vapor das aminas usadas. Para reduzir essa descarga de aminas indesejável, são instaladas as chamadas seções de lavagem na extremidade dessas colunas de absorção, nas quais as aminas são novamente removidas por lavagem com água da corrente de gás de escape.

Essas seções de lavagem operam, tipicamente, em uma guarnição estruturada a altas cargas de água, para causar um umedecimento suficiente da guarnição estruturada. A água é guiada em um circuito para garantir a alta carga de água. Esse circuito também é referido como recirculação (bombeamento em círculo). O abastecimento de água fresca precisa ser mantido baixo, de modo que o equilíbrio de água pode ser mantido e não ocorrem grandes correntes de água de descarga. Nesse contexto, o líquido é coletado na extremidade inferior da guarnição estruturada, é retirado como corrente lateral e, em sua maior parte, é redistribuído uniformemente na extremidade superior da guarnição estruturada sobre a guarnição estruturada por meio de distribuidores de líquido. A corrente de gás não pode ser purificada para uma concentração de amina arbitrariamente pequena pela recondução do líquido carregado de aminas. Se a seção de lavagem descrita fosse operada exclusivamente com água fresca, as cargas de fluido resultantes seriam de tal modo pequenas que resultaria em uma altura de guarnição muito grande. A perda de pressão também aumentaria, devido à grande altura de guarnição necessária, o que levaria a um custo de operação mais alto para a aplicação descrita.

Essas seções de lavagem podem agora ser operadas eficientemente a cargas de fluido muito pequenas com uma guarnição estruturada de acordo com a invenção: a água é guiada através da guarnição estruturada precisamente em uma quantidade que garante uma umidificação suficiente. A carga de fluido situa-se entre  $0,03 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  e  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Uma concentração de aminas significativamente mais baixa na corrente de gás de saída pode ser obtida com a quantidade reduzida de água, mas água livre de aminas, quando comparada com a recirculação descrita acima, uma vez que aminas têm uma pressão de vapor pequena e são muito solúveis em água.

Além disso, a perda de pressão da seção de lavagem é reduzida a um mínimo, devido ao uso da guarnição estruturada de acordo com a invenção. Além disso, resultam outras economias com relação a custos de investimento e custos de operação, uma vez que não é necessária uma bomba de circulação e o líquido não precisa ser coletado e removido na extremidade inferior da guarnição estruturada.

De acordo com uma outra modalidade preferida, a absorção de dimetil formamida (DMF) do ar é realizada em água. Como DMF é altamente solúvel em água, são necessárias apenas quantidades pequenas de água para a absorção. A água é posta em contato com um gás que contém o DMF para realizar a absorção. Quando maior for a superfície de contato entre a água e o gás, tanto mais rapidamente o DMF pode ser transferido do gás para a água. Essa superfície de contato corresponde à superfície de transferência de massa. A massa, aqui DMF, é transportada sobre toda a superfície de transferência de massa do gás para a água. A superfície de transferência de massa é tipicamente posta à disposição pela guarnição estruturada. A água distribui-se ao longo da guarnição estruturada pelo fato de que ela forma um filme fino que cobre a superfície da guarnição estruturada.

O resultado dessa medição é mostrado na figura 7, que mostra o número de unidades de transferência por metro (NTUM) como função do fator de absorção ( $A/m$ ) para tipos de guarnição diferentes. O fator de absorção proporciona a relação entre o gradiente da linha de operação A e a linha de equilíbrio m no diagrama de equilíbrio (diagrama x-y). Desse modo, o gradiente da linha de operação A é calculado da relação da corrente em mol do fluido volátil pesado para a corrente em mol do fluido volátil leve.

Uma guarnição estruturada de acordo com a invenção é referida doravante como guarnição de tecido híbrido VidroG, uma guarnição de tecido metálico doravante referida como MetalG e uma guarnição de metal de chapa, doravante referida como ChapaP, foram usadas como tipos de guarnição.

A tabela abaixo apresenta as superfícies específicas a dos tipos de guarnição usados:

| Tipo   | a[m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ] | Configuração                               |
|--------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| VidroG | 250                                | Tecido com fios de trama de fibra de vidro |
| MetalG | 450                                | Tecido metálico                            |
| ChapaP | 250                                | Metal de chapa                             |

O gráfico mostra que a guarnição de tecido híbrido tem uma eficiência de absorção similar a uma guarnição de tecido metálico. Essa eficiência da guarnição de tecido híbrido, no entanto, é obtida com aproximadamente metade da superfície específica.

Em comparação, a guarnição de metal de chapa possibilita um número reduzido de passos de separação por metro ou NTUM (núemrod e unidades de transferência por metro) com a mesma superfície específica como a guarnição de tecido híbrido, o que pode ser explicado pelo umedecimento inferior da guarnição de metal de chapa.

Da relação da superfície específica de 2:1 para MetalG : ChapaP seria de se esperar que o número de passos de separação teóricos por metro seria aproximadamente o dobro do tamanho para a guarnição de tecido metálico NTUM (MetalG) do número de passos de separação teóricos por metro NTUM (ChapaP). O número de passos de separação teóricos por metro para a guarnição de tecido metálico NTUM (MetalG), efetivamente, porém, é 1,6 vezes o número de passos de separação teóricos por metro NTUM para a guarnição de metal de chapa (ChapaP). Isso pode ser explicado por uma exploração inferior da superfície espécie que se deve à carga de margem menor para o tecido metálico MetalG.

A carga de margem é maior para uma guarnição de metal de chapa ChapaP do que para uma guarnição de tecido metálico do tipo MetalG, uma vez que a carga de fluido L permanece a mesma nos dois casos, porém, a superfície de Chapa P é muito menor do que a de MetalG, o que também está documentado na técnica anterior mencionada na introdução.

De acordo com a teoria, NTUM (VidroG) precisa ser igual a NTUM (ChapaP), uma vez que as superfícies específicas são iguais. Os resultados obtidos de acordo com a figura 7, no entanto, mostram um fator de

1,5 entre essas guarnições para NTUM. Como esse fator, obviamente, não pode ser explicado pela diferença da superfície específica, o aperfeiçoamento precisa ser obtido através do uso de um tecido que inclui fios de fibra de um material não metálico e, por essa razão, tem uma umidificação aperfeiçoada.

Para a guarnição de tecido híbrido do tipo VidroG, os fios usados como os fios de trama têm uma contagem de fios, tal como apresentado na relação subsequente: fibra de vidro (GFm 136 tex), com uma contagem de fios de 136 g/1000 m ou fibra de basalto (BF, 577 tex) 557 g/1000 m. A disposição dos fios para a formação do tecido é explicada na relação abaixo:

De acordo com uma primeira variante, o tecido está composto de uma fibra de vidro (GF), com uma contagem de fios tal como apresentada acima e inclui fios metálicos de aço inoxidável, dispostos periodicamente entre a fibra de vidro, sendo que a espessura de fio dos fios metálicos é de 0,16 mm. A densidade do tecido nessa disposição perfaz 0,616 kg/m<sup>2</sup>. Nesse caso, 70,6 fios/25,4 mm (= 1 polegada [2,54 cm]) estão dispostos na direção da trama e 40,9 fios/25,4 mm (= 1 polegada [2,54 cm]) estão dispostos na direção do urdume.

De acordo com uma segunda variante, o tecido está composto de uma fibra de basalto (BF), com uma espessura de fio tal como descrita acima e fios metálicos de aço inoxidável dispostos periodicamente entre as fibras de vidro, sendo que a espessura de fio dos fios metálicos perfaz 0,16 mm. A densidade do tecido perfaz 0,923 kg/m<sup>2</sup> nessa disposição. Nesse caso, 70,6 fios/25,4 mm (= 1 polegada [2,54 cm]) estão dispostos na direção da trama e 25,7 fios/25,4 mm (= 1 polegada [2,54 cm]) estão dispostos na direção do urdume.

Surpreendentemente, para um tecido que inclui pelo menos um dois fios de fibra mencionados, pode ser encontrado um número de separação teóricos por metro aproximadamente do mesmo tamanho como para a guarnição de tecido metálico (MetalG), com aproximadamente o dobro de superfície específica.

Uma modalidade particularmente vantajosa de uma guarnição

de tecido híbrido é mostrada na figura 8. Uma camada da guarnição de tecido híbrido mostrada na figura 8 tem uma zona de limite inferior, uma zona central e uma zona de limite superior. As zonas de limite estão localizadas no lado superior e no lado inferior da camada, quando a camada está inserida como uma parte de uma guarnição estruturada em um aparelho de transferência de massa. As zonas de limite estão configuradas de modo que o ângulo à direção de corrente principal é menor do que na zona central. Particularmente, o ângulo pode aumentar continuamente de um valor mínimo até que o ângulo de inclinação dos canais da zona central seja obtido com relação à direção de corrente principal. A resistência à corrente das zonas de limite correspondentes é reduzida com relação à zona central pela configuração especial das zonas de limite inferiores. O valor mínimo do ângulo pode perfazer, particularmente,  $0^\circ$ , de modo que a tangente na curvatura do canal na margem está paralela à direção de corrente principal.

Na figura 8 também são mostradas combinações diferentes de fios de fibra de um material não metálico e fios metálicos. Por exemplo, os fios de fibra 51, 52 podem ser dispostos alternadamente a fios metálicos 50. Alternativamente a isso, tal como já é mostrado na figura 2, os fios de fibra 53, 54, 55, 56, 57 podem ser dispostos diretamente em contato um com o outro. Também um número menor do que cinco fios de fibra pode ser disposto em contato um com o outro, por exemplo, três fios de fibra, indicados na figura 8 com 58, 59, 60, ou dois fios de fibra, indicados na figura 8 com 61, 62, podem ser dispostos em contato um com o outro.

Em conclusão, foi mostrado, portanto, que a guarnição de tecido híbrido é muito apropriada para líquidos, que se distribuem de modo inferior em guarnições estruturadas típicas. Além disso, a guarnição de tecido híbrido é apropriada para aplicações com cargas de fluido muito baixas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de transferência de massa, que inclui os passos: alim-  
mentar um primeiro fluido e um segundo fluido a um aparelho de transferên-  
cia de massa, em que o aparelho de transferência de massa inclui um reci-  
5 piente que tem uma região de cabeça, uma região de base e uma região de  
transferência de massa, em que o primeiro fluido é posto em contato com o  
segundo fluido pelo menos na região de transferência de massa, em que a  
região de transferência de massa está disposta entre a região de cabeça e a  
região de base e a região de transferência de massa inclui uma guarnição  
10 estruturada que inclui uma pluralidade de camadas adjacentes de tecido que  
inclui fios de fibra de um material não metálico, caracterizado pelo fato de  
que o aparelho de transferência de massa é operado a uma carga de fluido  
de no máximo  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ .

2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que o aparelho  
15 de transferência de massa é operado a uma carga de fluido de no máximo  
 $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ .

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que um do  
primeiro fluido ou do segundo fluido tem uma tensão superficial de pelo me-  
nos  $30 \text{ mN/m}$ , de preferência, de pelo menos  $50 \text{ mN/m}$ .

20 4. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes,  
em que o fluido inclui água, aminas, amidas, particularmente, dimetilforma-  
mida, álcoois mono-hídricos ou poli-hídricos, particularmente, álcoois de áci-  
dos graxos, monoetileno glicol, dietileno glicol, trietileno glicol, tetraetileno  
glicol, monômeros de plásticos, particularmente, MDI (difenilmetano di-iso-  
25 cianato), DMT (dimetiltereftalato), ácidos carboxílicos, particularmente, áci-  
dos graxos, ésteres, particularmente, ésteres de ácido graxo ou misturas de  
pelo menos dois dos componentes.

5. Guarnição estruturada para um aparelho de transferência de  
massa com uma região de cabeça e uma região de base, em que a guarni-  
30 ção estruturada inclui uma pluralidade de camadas adjacentes que formam,  
em cada caso, um lado superior, que está voltado para a região de cabeça e  
sendo que essas camadas formam, em cada caso, um lado inferior, que está

voltado para região de base, em que a camada tem um elemento de parede, que se estende entre o lado superior e o lado inferior, caracterizada pelo fato de que o elemento de parede está formado como um tecido, que inclui fios de fibra de um material não metálico que estão formados como fios de trama, em que os fios de trama têm uma contagem de fios de pelo menos 100 g/1000 m e os fios de trama incluem pelo menos 20 fios/25,4 mm.

6. Guarnição estruturada de acordo com a reivindicação 5, em que pelo menos dois fios de fibra feitos de um material não metálico estão dispostos diretamente adjacentes um ao outro.

7. Guarnição estruturada de acordo com a reivindicação 5 ou 6, em que a área de superfície específica da guarnição perfaz de  $0 \text{ m}^2/\text{m}^3$  até no máximo  $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

8. Guarnição estruturada de acordo com uma das reivindicações 5 a 7, em que fios metálicos estão dispostos entre os fios de fibra de material não metálico.

9. Guarnição estruturada de acordo com uma das reivindicações 5 a 8, em que os fios de trama estão entrelaçados por fios de urdume, em que pelo menos uma parte dos fios de urdume é feita de fios metálicos.

10. Guarnição estruturada de acordo com uma das reivindicações 5 a 9, em que os fios de fibra de material não metálico incluem vidro, basalto ou um polímero.

11. Guarnição estruturada de acordo com uma das reivindicações 6 a 10, em que os fios metálicos incluem aço inoxidável, titânio, hastelloy, duplex, tântalo ou têm um revestimento.

12. Guarnição estruturada de acordo com uma das reivindicações 5 a 11, em que a parede da camada tem uma seção ondulada através da qual é formada uma pluralidade de canais abertos, que se estendem do lado superior da guarnição para o lado inferior da guarnição, em que os canais incluem um primeiro cavado de onda, uma primeira crista de onda e uma segunda crista de onda, em que a primeira crista de onda e a segunda crista de onda limitam o primeiro cavado de onda, em que a primeira crista e a segunda crista de onda têm um primeiro pico e um segundo pico.

13. Aparelho de transferência de massa, que inclui uma guarnição estruturada como definida em qualquer uma das reivindicações 5 a 12.

14. Aparelho de transferência de massa de acordo com a reivindicação 13, que está configurado como um aparelho de absorção ou como  
5 uma coluna de destilação.

15. Aparelho de transferência de massa de acordo com a reivindicação 13 ou 14, que tem uma região de cabeça, uma região de base e uma região de transferência de massa disposta entre a região de cabeça e a região de base, em que um distribuidor de fluido está disposto no aparelho  
10 de transferência de massa, de modo que o primeiro fluido pode ser distribuído sobre o lado superior da guarnição estruturada por meio do distribuidor de fluido, em que o primeiro fluido é aplicável sobre as superfícies de parede das camadas da guarnição estruturada como um filme e, nesse contexto, pode ser posto em contato com um segundo fluido corrente em corrente in-  
15 versa com relação ao primeiro fluido.

Fig.1

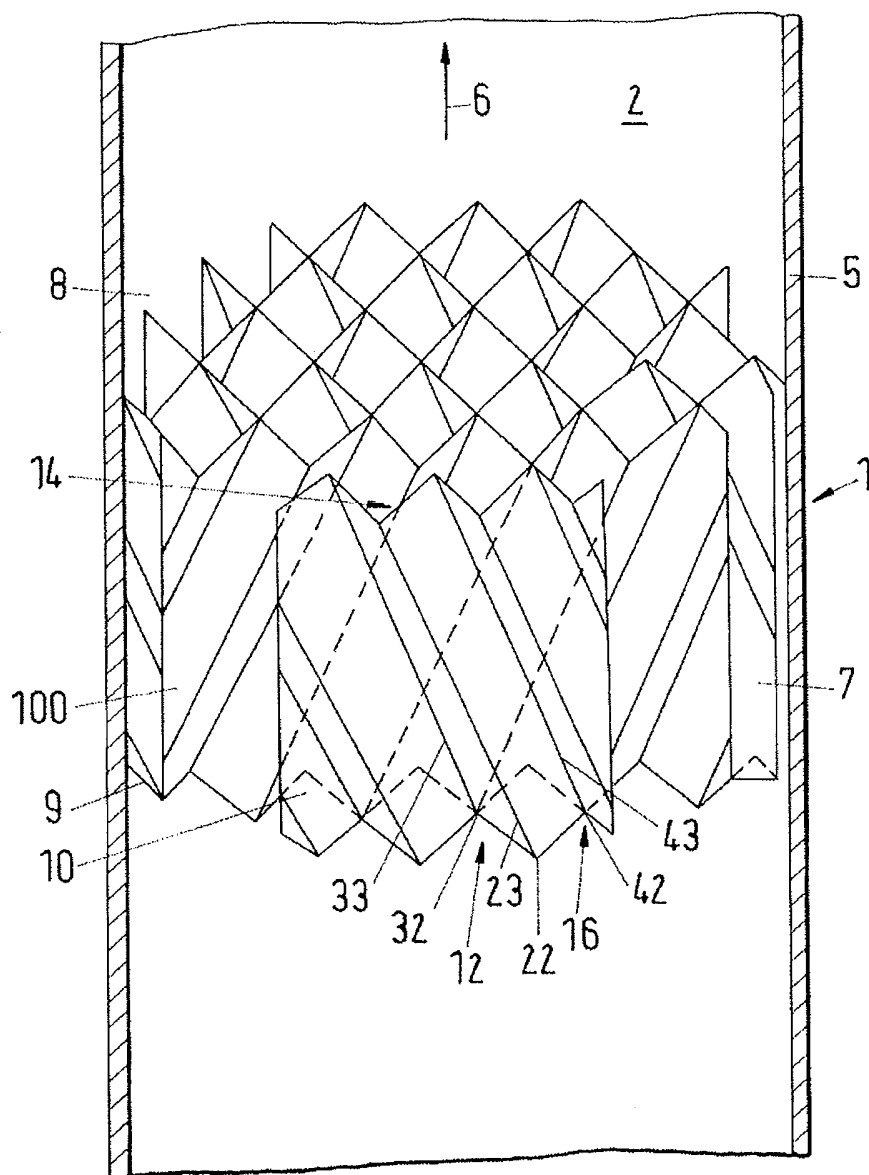


Fig.2

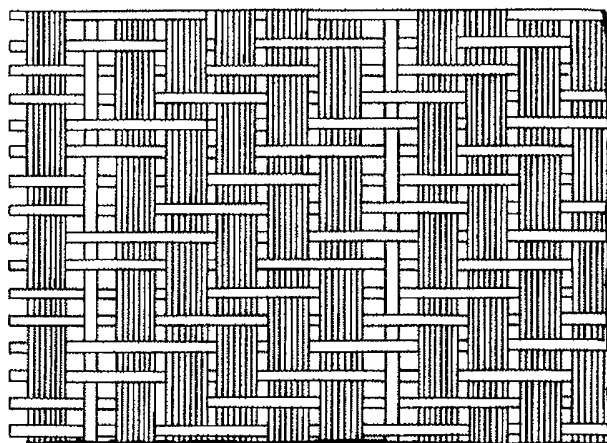


Fig.3

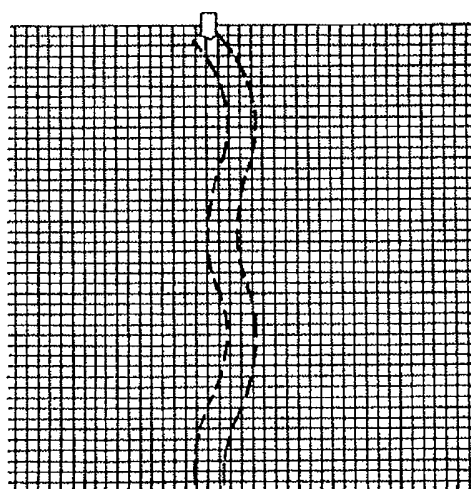


Fig.4

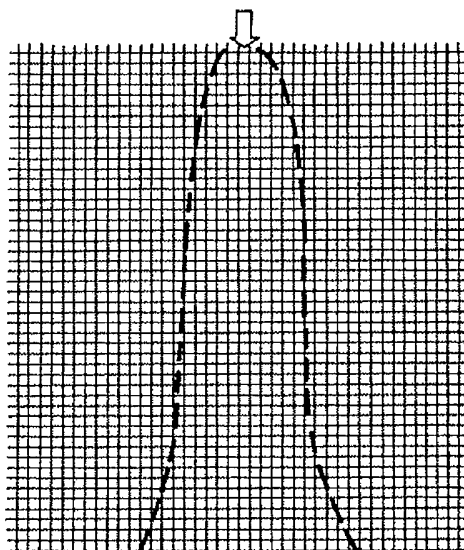


Fig.5

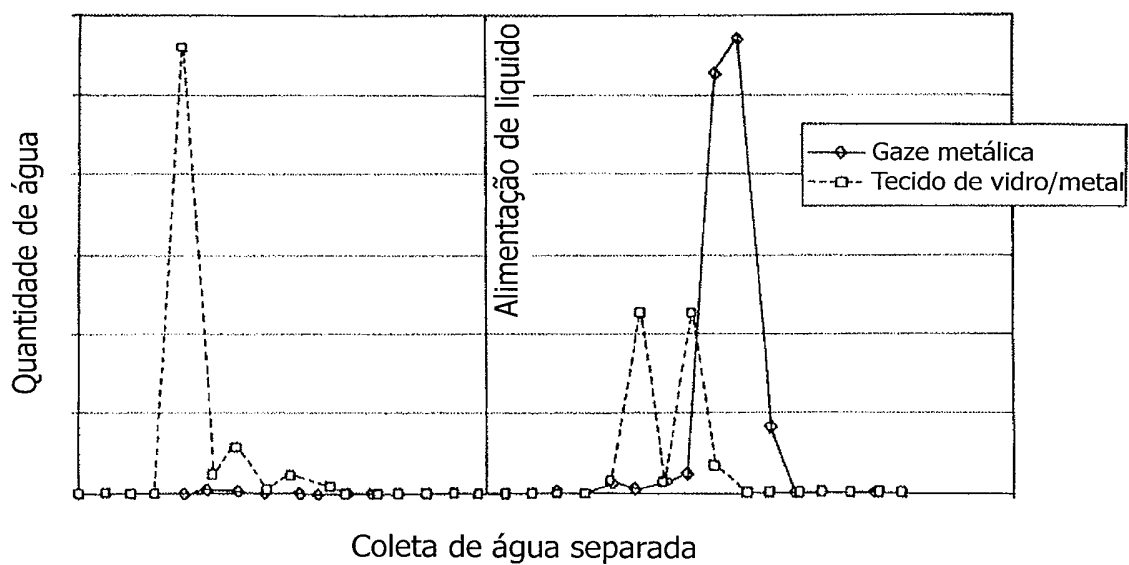


Fig.6

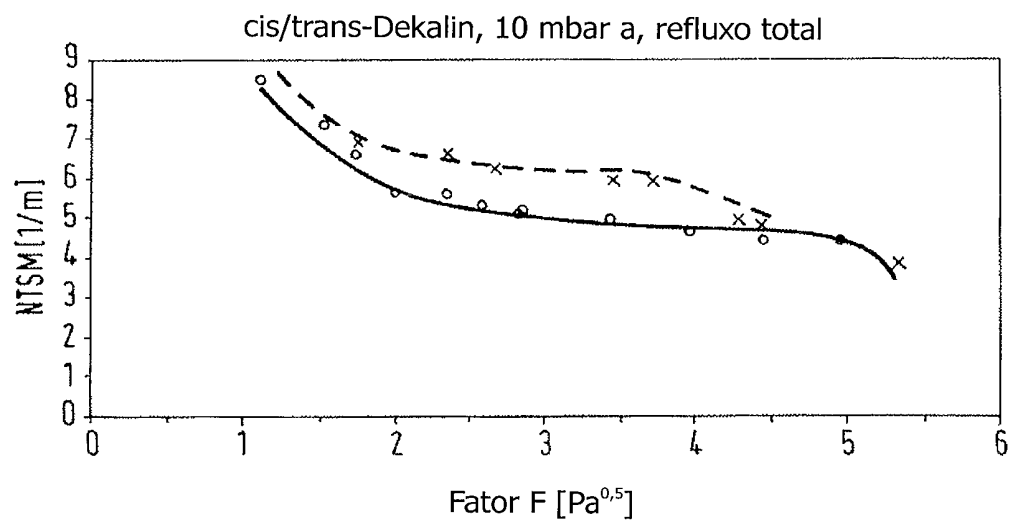


Fig.7

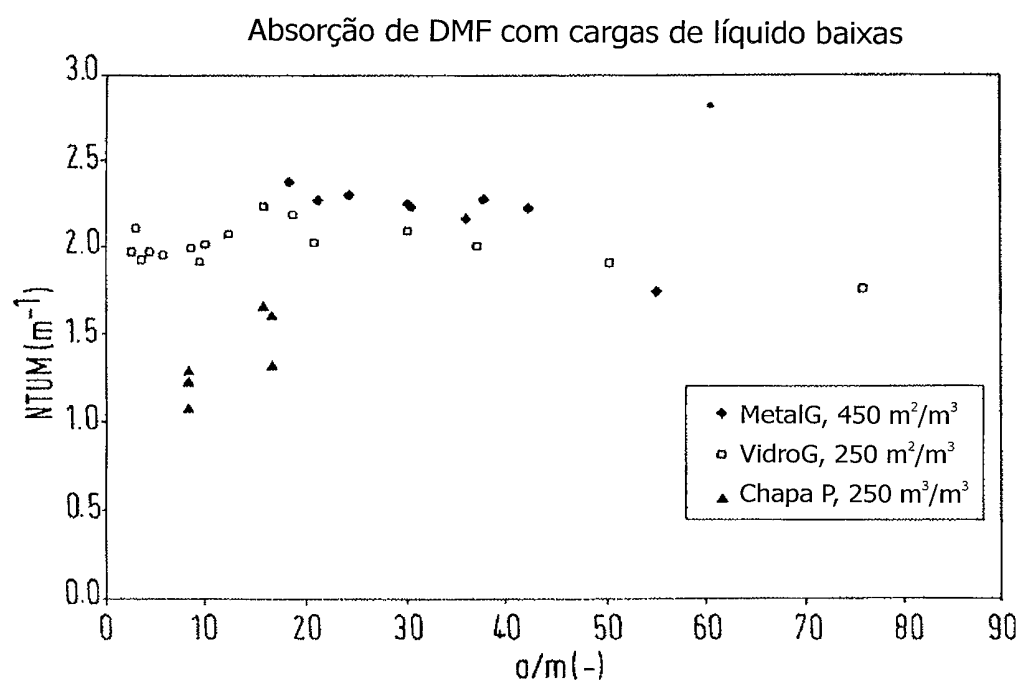
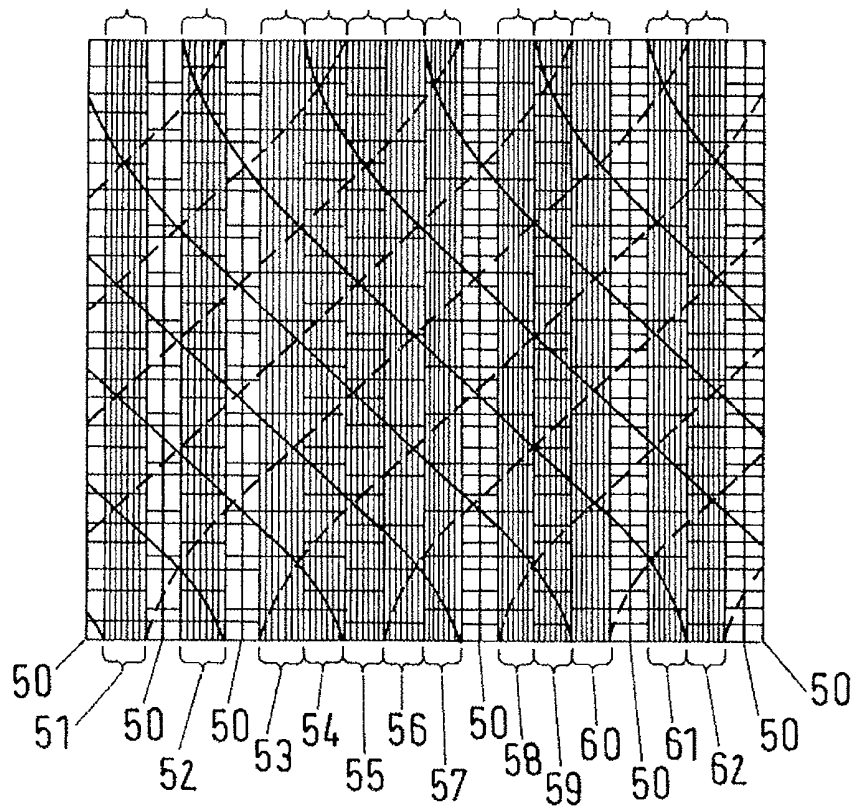


Fig.8



**RESUMO**

Patente de Invenção: **"MÉTODO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA, GUARNIÇÃO ESTRUTURADA E APARELHO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA PARA UMA CARGA DE LÍQUIDO PEQUENA".**

5           A presente invenção refere-se a um método de transferência de massa que inclui os passos de: alimentar um primeiro fluido e um segundo fluido a um aparelho de transferência de massa, em que sendo que o aparelho de transferência de massa inclui um recipiente que tem uma região de cabeça, uma região de base e uma região de transferência de massa, em  
10   que o primeiro fluido é posto em contato com o segundo fluido pelo menos na região de transferência de massa, em que a região de transferência de massa está disposta entre a região de cabeça e a região de base e a região de transferência de massa inclui uma guarnição estruturada, que inclui uma pluralidade de camadas adjacentes de tecido, que inclui fios de fibra de um  
15   material não metálico. O aparelho de transferência de massa é operado a uma carga de fluido de no máximo  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ . O tecido da guarnição estruturada inclui fios de fibra de um material metálico, que estão formados como fios de trama, em que os fios de trama têm uma contagem de fios de pelo menos  $100 \text{ g}/1000 \text{ m}$  e os fios de trama incluem pelo menos 20fios/25,4 mm.