



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

(21) PI 0720800-6 A2



(22) Data de Depósito: 28/12/2007
(43) Data da Publicação: 11/03/2014
(RPI 2253)

(51) *Int.Cl.*:
B01D 61/36
B01D 63/12

(54) Título: PROCESSO E UNIDADE DE
PERVAPORAÇÃO

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 09/01/2007 US 11/651303

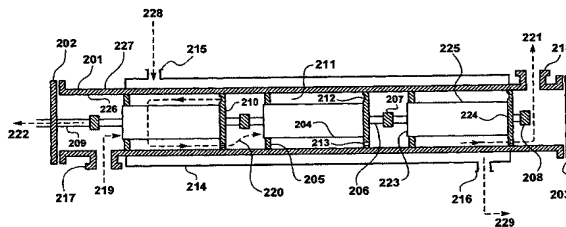
(73) Titular(es): Membrane Technology And Research, Inc

(72) Inventor(es): Donald A. Fulton, Nicholas P. Wynn, Tiem
Aldajani, Yu Huang

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2007089079 de
28/12/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/085774de
17/07/2008



“PROCESSO E UNIDADE DE PERVAPORAÇÃO”

CAMPO DA INVENÇÃO

A invenção refere-se à pervaporação. Em particular, a invenção se refere aos processos de pervaporação em que múltiplos módulos de membrana estão contidos em um único alojamento ou recipiente.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Na pervaporação, uma corrente líquida de múltiplos componentes é passada através de uma membrana que preferencialmente atravessa um ou mais dos componentes. Quando o líquido de alimentação escoar através da superfície da membrana, os componentes preferencialmente atravessados passam através da membrana e são removidos como um vapor de permeação.

O transporte através da membrana é induzido mediante a manutenção de uma pressão de vapor sobre o lado de permeado da membrana que é mais baixa do que a pressão de vapor do líquido de alimentação. A diferença de pressão de vapor é geralmente alcançada pela manutenção do líquido de alimentação em uma temperatura mais elevada do que aquela da corrente de permeado. O calor latente de evaporação dos componentes de permeado deve ser fornecido no líquido de alimentação para a temperatura de alimentação ser mantida e para o processo de pervaporação continuar.

Em uma separação típica, tal como aquela de um álcool da água, a alimentação esfria cerca de 5°C para cada 1 % da alimentação que atravessa a membrana. Nos processos de pervaporação industriais, uma medida de cerca de 5 % da alimentação atravessa a membrana por módulo. A queda de temperatura correspondente é, por conseguinte, ao redor de 25°C. Outras separações podem envolver maiores ou menores quedas de temperatura.

A queda de temperatura é invertida mediante a retirada da solução de alimentação e operá-la através de aquecedores individuais ou

ciclos de troca de calor entre cada módulo. Isto é comumente referido como aquecimento de inter-estágios.

5 Par adaptar estes requisitos para o reaquecimento inter-módulo ou inter-estágio, os sistemas de pervaporação devem incluir números canos, flanges, válvulas e outros acessórios para permitir a solução de alimentação passar dentro e fora do recipiente que aloja os módulos. Isto torna os sistemas complexos de planejar, pesados para construir e caros, e limita a utilidade industrial da pervaporação.

10 Em consequência, embora os sistemas de pervaporação comerciais tenham sido disponíveis durante mais de 20 anos, poucas aplicações práticas para um processo que é de outra maneira atrativo foram realizadas.

15 Os pedidos de patente co-apropriados e co-pendentes números de série 11/050.995; 11/271.402 e 11/484.547 divulgam equipamento de separação de gás em que múltiplos módulos de membrana em múltiplos tubos estão contidos em um único alojamento. Estes três pedidos de patente são aqui incorporados por referência em sua totalidade.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

20 A invenção é um processo de pervaporação e equipamento de pervaporação para a separação de um componente de uma mistura líquida, a mistura tipicamente contendo água e pelo menos um componente orgânico, ou sendo uma mistura de pelo menos dois componentes orgânicos.

25 A separação é realizada mediante a operação de uma corrente de alimentação da mistura líquida através de uma membrana de separação sob condições de pervaporação. Por condições de pervaporação, queremos dizer que a pressão de vapor do componente que é desejado separar da corrente de permeado é mantida em um nível mais baixo no lado de permeado do que no lado de alimentação, e a pressão no lado de permeado é tal que o permeado está na fase gasosa quando emerge da membrana. O processo resulta,

portanto, em uma corrente de vapor de permeado enriquecida no componente desejado e uma corrente líquida residual esgotada deste componente.

Em um primeiro aspecto, o processo é realizado usando múltiplos módulos de membrana ou elementos dispostos em série dentro de um único tubo, de modo que a corrente de resíduo que sai do primeiro módulo na série forme a alimentação para o segundo módulo, e assim por diante, até que a corrente de resíduo final ou de produto seja retirada do último módulo na série.

Para manter o fluxo de transmembrana adequado, a solução de alimentação sob tratamento é aquecida dentro do tubo quando ela passa de um módulo para o outro. Este aquecimento ou reaquecimento de interestágio é obtido mediante o bloqueio da trajetória reta do fluxo a partir da extremidade de resíduo de um módulo até a extremidade de alimentação do próximo, e mediante o aquecimento da superfície externa do tubo. Em lugar de passar diretamente para a entrada do próximo módulo, a alimentação é direcionada em uma trajetória de fluxo no espaço anular entre a parede ou superfície interna do tubo e a carcaça ou superfície do módulo de membrana que acaba de sair.

Em uma forma de realização básica, o processo de pervaporação da invenção inclui as seguintes etapas:

(a) passar uma solução de alimentação a ser tratada através de uma série de múltiplos módulos de membrana, cada módulo de membrana tendo uma superfície longitudinal externa, uma extremidade de alimentação e uma extremidade de resíduo, os módulos de membrana sendo alojados em um tubo isolado tendo uma superfície interna e uma externa, para separar a solução de alimentação sob condições de pervaporação em uma corrente de resíduo e uma corrente de permeado; e

(b) obter um reaquecimento inter-módulo da solução de alimentação quando ela passa ao longo da série mediante:

(i) o escoamento da solução de alimentação que sai da extremidade de resíduo de um módulo de membrana na série pelo menos parcialmente de volta na direção da extremidade de alimentação deste módulo de membrana em uma zona de reaquecimento definida pela superfície longitudinal externa deste módulo de membrana e a superfície interna do tubo antes da solução de alimentação ser autorizada a entrar na extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série; e

(ii) o aquecimento da superfície externa do tubo.

O processo divide a corrente de alimentação em uma corrente de resíduo tratada e uma corrente de permeado, cada uma ou ambas das quais podem ser produtos desejados do processo. Por exemplo, se a solução de alimentação for uma solução diluída de etanol em água, o processo da invenção pode ser usado para formar um produto de etanol mais concentrado como a corrente de permeado. Da mesma maneira, se a solução de alimentação for etanol contendo apenas alguns por centos de água, o processo da invenção pode ser usado para desidratar o etanol, formando um produto de etanol purificado como a corrente de resíduo.

Os módulos ou elementos de membrana são alojados em um tubo. O tubo serve para alojar e sustentar os elementos de membrana e fornecer um fluxo de fluido direcionado. Além disso, o tubo conduz calor para aquecer a solução de alimentação quando ela passa ao longo do conjunto de módulos, e pode fornecer uma função sustentadora da pressão se as condições de pressão sob as quais o processo de separação é realizado forem substancialmente diferentes da pressão fora do tubo.

O lado de fora do tubo pode ser aquecido de qualquer maneira apropriada. Preferivelmente, vapor de qualidade baixa é usado se disponível.

A membrana usada para executar a separação pode ser qualquer tipo de membrana capaz de executar uma separação apropriada sob condições de pervaporação. As membranas adequadas incluem membranas

poliméricas, membranas inorgânicas, tais como membranas de cerâmica, e membranas contendo partículas inorgânicas embutidas em uma matriz polimérica. Por exemplo, se a solução de alimentação for para ser desidratada, uma membrana hidrófila, tal como uma membrana de álcool polivinílico, pode ser usada. Se a solução de alimentação for uma mistura de olefinas e parafinas, uma membrana hidrofóbica, tal como uma membrana de poliimida fluorada, pode ser usada.

As membranas e módulos podem tomar qualquer forma cilíndrica conveniente, tal como lâminas planas enroladas em módulos dobrados em espiral, fibras ocas envasadas ou membranas tubulares que encaixam no tubo de modo a deixar um espaço anular entre a superfície longitudinal externa de um módulo de membrana e a superfície interna do tubo. A configuração do processo e mecanismo da invenção não é adequada para módulos de placa e invólucro, quando estes forem geralmente montados em pilhas, não alojados em tubos ou recipientes de pressão cilíndricos.

A série inclui pelo menos dois módulos, e tipicamente incluirão três, quatro, cinco ou seis módulos montados de extremidade a extremidade no tubo. Os módulos são conectados como descrito acima tal que uma corrente de alimentação sob tratamento possa entrar na extremidade de alimentação do primeiro módulo, fluir através dos módulos por sua vez e sair como uma corrente de resíduo final da extremidade de resíduo do último módulo. Os módulos também são conectados por um cano ou canos de permeação, através dos quais a corrente de permeação coletada da série pode fluir.

A força de acionamento para a permeação da transmembrana é a diferença entre a pressão de vapor do líquido de alimentação e a pressão de vapor sobre o lado de permeado. Esta diferença de pressão é gerada pelo menos em parte pela operação com o líquido de alimentação na temperatura ambiente acima, geralmente acima de 30 EC, e tipicamente na faixa de 30 a

120 EC. Opcionalmente, o lado de permeado também pode ser mantido sob vácuo para aumentar a força de acionamento.

Para aquecer a solução de alimentação quando ela passa ao longo da cadeia de módulos, a solução de alimentação é impedida de fluir em uma linha reta imediatamente da extremidade de resíduo de um módulo até a alimentação do próximo. Em vez disso, a solução de alimentação que sai da extremidade de resíduo de um módulo é direcionada pelo menos parcialmente de volta ao longo do exterior do módulo que acaba de sair, dentro de um espaço de reaquecimento ou zona entre a superfície longitudinal externa deste módulo e a superfície interna do tubo. A solução residual reaquecida é depois direcionada do espaço de reaquecimento até a extremidade de entrada da alimentação do próximo módulo.

Qualquer meio de bloqueio de fluxo e direcionamento de fluxo que alcança esta trajetória de fluxo pode ser usado dentro do escopo da invenção.

Um meio preferido é uma tampa de extremidade adaptada. As tampas são montadas nas extremidades de resíduo dos módulos e se encaixam de maneira que veda o fluido contra a superfície interna do tubo. O líquido que deixa o módulo é direcionado por canais adequadamente configurados dentro da tampa de extremidade, de modo que ele sai do espaço de reaquecimento associado com este módulo, e deve fluido de lado a lado ou através deste espaço antes de passar através de um outro canal na tampa de extremidade que leva em direção à extremidade de alimentação do próximo módulo. Para melhorar a distribuição de fluxo dentro da zona de reaquecimento, chicanas, aletas ou armações retas ou curvas podem se estender ao longo da zona de reaquecimento.

Um outro exemplo de um meio de bloqueio de fluxo e direção de fluxo adequado é uma placa de direcionamento de fluxo especialmente adaptada posicionada entre um módulo e o outro na série.

O processo da invenção fornece uma técnica melhorada par a realização de qualquer operação de pervaporação que requeira o uso de múltiplos módulos em série. O novo processo evita a necessidade de extrair a solução sob tratamento a partir do conjunto de módulos de membrana para operá-lo repetidamente através dos aquecedores ou trocadores térmicos externos. Isto não apenas fornece melhor integração térmica, mas os grandes números de canos, válvulas, flanges e acessórios associados com a remoção repetida e re-introdução são eliminados. Como um conjunto de pervaporação comercial pode-se conter tantas quantas dez etapas de reaquecimento com pervaporação, as economias na complexidade de engenharia e custo são substanciais.

Em um segundo aspecto, a invenção fornece para separação de uma mistura líquida de acordo com os princípios descritos acima, mas neste caso existem múltiplas séries de módulos, montados em múltiplos tubos, e os próprios tubos estão contidos dentro de um único alojamento, unidade ou recipiente externo. Neste caso, as economias na complexidade e custo são ainda mais marcantes.

A este respeito, o processo da invenção inclui as seguintes etapas:

(a) fornecer um recipiente em que múltiplos tubos são montados em paralelo, cada tubo tendo uma superfície interna e uma externa e contendo uma série de múltiplos módulos de membrana, cada módulo de membrana tendo uma superfície longitudinal externa, uma extremidade de alimentação e uma extremidade de resíduo;

(b) passar uma solução de alimentação a ser tratada através dos módulos de membrana para separar a solução de alimentação sob condições de pervaporação em uma corrente de resíduo e uma corrente de permeado;

(c) obter um reaquecimento inter-módulo da solução de alimentação quando ela passa ao longo da série de módulos de membrana

mediante:

(i) o escoamento da solução de alimentação que sai da extremidade de resíduo de um módulo de membrana na série pelo menos parcialmente de volta em direção à extremidade de alimentação deste módulo de membrana em uma zona de aquecimento definido pela superfície longitudinal externa deste módulo de membrana e a superfície interna do tubo antes da solução de alimentação é permitida entrar na extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série; e

(ii) o aquecimento das superfícies externas dos tubos mediante o escoamento de um fluido de aquecimento através do recipiente.

Neste caso, as preferências para o layout dentro de cada tubo de módulos de membrana e elementos de bloqueio de fluxo e direcionamento de fluxo são similares às aquelas para o processo de único tubo.

Em um terceiro aspecto, a invenção é o equipamento, sistema ou mecanismo de pervaporação adaptado para realizar o processo de separação por pervaporação. Neste aspecto, a invenção inclui os seguintes elementos:

(a) uma série de múltiplos módulos de membrana, cada módulo de membrana tendo uma superfície longitudinal externa, uma extremidade de alimentação e uma extremidade de resíduo, e incluindo um cano de permeação que se projeta a partir do módulo de membrana, os módulos de membrana tendo seus canos de permeação conectados em uma maneira de extremidade a extremidade.

(b) um tubo contendo os módulos de membrana, o tubo compreendendo pelo menos uma cabeça removível e um invólucro tendo uma superfície interna e uma superfície externa, o tubo sendo fornecido com um orifício de entrada de alimentação e um orifício de saída de resíduo e adaptado de modo que a corrente de permeação que escoar através dos canos de permeação pode ser retirada do tubo;

(c) uma vedação anular para cada módulo de membrana, posicionada de modo a fornecer uma vedação estanque a fluidos entre a superfície longitudinal externa do módulo e a superfície interna do tubo;

5 (d) meios de bloqueio do fluxo e direcionamento do fluxo posicionados no tubo de modo a bloquear o fluxo de imediato de um fluido a partir da extremidade de resíduo de um módulo de membrana até a extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série;

10 (e) uma zona de reaquecimento anular entre a superfície longitudinal externa de um módulo de membrana e a superfície interna do tubo;

os meios de bloqueio de fluxo e direcionamento de fluxo sendo adaptados para direcionar o fluido residual direto para dentro e fora da zona de reaquecimento; e

(f) meios para o aquecimento da superfície externa do tubo.

15 Os meios de bloqueio do fluxo e de direcionamento do fluxo é preferivelmente uma tampa de extremidade adaptada com um canal de direcionamento de fluxo e um furo de saída, como descrito acima, ou uma placa de direcionamento de fluxo posicionada entre os módulos de membrana seqüenciais na série.

20 Os meios para o aquecimento da superfície externa do tubo e preferivelmente uma carcaça ao redor do tubo, através do qual um fluido de aquecimento pode ser passado.

25 O equipamento pode utilizar múltiplos tubos, com uma série de módulos de membrana dentro de cada tubo. Neste caso, um único recipiente é usado para alojar os tubos, e os meios de aquecimento da superfície externa dos tubos é preferivelmente para escoar um fluido de aquecimento, tal como vapor, através do interior do recipiente foram dos tubos.

Se um recipiente de múltiplos tubos for usado, um número

representativo e conveniente de tubos é sete tubos, e existem preferivelmente pelo menos três módulos de membrana em cada tubo.

Deve ficar entendido que o sumário acima e a seguinte descrição detalhada são destinadas a explicar e ilustrar a invenção sem restringir o seu escopo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 é um desenho esquemático que mostra o padrão de fluxo em um processo de pervaporação da invenção.

A Figura 2 é um desenho esquemático que mostra, em corte transversal longitudinal, o layout dos módulos e tampas de extremidade em um processo de pervaporação da invenção em que os módulos de membrana estão contidos dentro de um tubo isolado.

A Figura 3 é um desenho esquemático que mostra uma configuração representativa da tampa de extremidade na extremidade de resíduo de um módulo em corte transversal longitudinal.

A Figura 4 é um desenho esquemático que mostra uma seção transversal representativa de uma tampa de extremidade tal como aquela da Figura 3 quando se opõe à extremidade de resíduo de um módulo.

A Figura 5 é um desenho esquemático que mostra uma vista de uma tampa de extremidade tal como aquela da Figura 3 quando se opõe à extremidade de alimentação do próximo módulo em série.

A Figura 6 é um desenho esquemático que mostra uma disposição alternativa dos canais de fluxo em uma tampa de extremidade de resíduo.

A Figura 7 é um desenho esquemático que mostra, em corte transversal longitudinal, o layout dos módulos e tampas de extremidade em um processo de pervaporação da invenção em que os módulos de membrana estão contidos dentro de múltiplos tubos em um alojamento único.

A Figura 8 é um desenho em corte transversal esquemático

que mostra a colocação de 7 tubos em uma unidade tal como aquela da Figura 7.

5 A Figura 9a mostra um módulo e tampa da extremidade de resíduo para dividir o espaço de aquecimento como visto com a tampa de extremidade à esquerda da figura. A Figura 9b mostra o módulo com visto com a tampa da extremidade de resíduo à direita.

10 A Figura 10 é um desenho esquemático que mostra, em corte transversal longitudinal, uma disposição alternativa para o bloqueio e redirecionamento do fluxo de fluido na extremidade de resíduo de um módulo.

A Figura 11 mostra a disposição de bloqueio da Figura 10 em corte transversal radial.

15 A Figura 12 é um gráfico que mostra os perfis de temperatura ao longo de dois módulos de membrana em uma unidade de um tubo similar àquela da Figura 2.

A Figura 13 é um gráfico que compara os perfis de temperatura ao longo de dois módulos de membrana em uma unidade de um tubo similar àquela da Figura 2 em diferentes diferenciais de temperatura entre o fluido de aquecimento e a solução de alimentação.

20 DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Todas as porcentagens aqui são em peso a não ser que de outra maneira mencionada.

Os termos módulo de membrana e elemento de membrana são usados aqui de modo trocável.

25 Os termos tubo, alojamento e recipiente são usados de modo trocável quando eles se referem ao mecanismo em que todos os módulos de membrana estão contidos em um único tubo.

Os termos unidade, alojamento e recipiente são usados de modo trocável quando eles se referem ao mecanismo em que todos os

módulos de membrana estão contidos em múltiplos tubos dentro de um único alojamento.

Os termos espaço de reaquecimento, área de reaquecimento e zona de reaquecimento possuem o mesmo significado e são usados aqui de modo trocável.

A invenção é um processo para a separação de um componente de uma solução mediante a pervaporação, e o equipamento ou mecanismo para realizar tal separação.

Qualquer solução que possa ser tratada por pervaporação pode ser tratada pelo processo da invenção. Mais comumente, o líquido a ser tratado será uma solução de um ou mais componentes orgânicos em água, ou de água em um solvente orgânico ou mistura de solvente, mas soluções contendo apenas componentes orgânicos ou apenas inorgânicos também podem ser tratadas. A separação de aromáticos de parafinas em uma refinaria de petróleo, remoção de compostos de enxofre orgânicos de misturas de hidrocarboneto, desidratação de bioetanol, recuperação de etanol de caldo de fermentação, e remoção de compostos orgânicos voláteis (VOCs) de águas residuais são exemplos representativos típicos de separações em que o processo da invenção pode ser usado com vantagem.

A separação é realizada mediante a operação de uma corrente de alimentação da mistura líquida através de uma membrana de separação sob condições de pervaporação. Por condições de pervaporação, queremos dizer que a pressão de vapor do componente que é desejado separar da corrente de permeado é mantida em um nível mais baixo no lado de permeado do que no lado de alimentação, e a pressão no lado de permeado é tal que o permeado está na fase gasosa quando emerge da membrana. O processo resulta, portanto, em uma corrente de vapor de permeado enriquecida no componente ou componentes desejados e uma corrente líquida residual esgotada deste componente ou componentes.

Em um primeiro aspecto, o processo é realizado usando múltiplos módulos de membrana ou elementos dispostos em série dentro de um único tubo.

Um aspecto significativo da invenção é que a solução de alimentação não necessita ser retirada do tubo para reaquecimento. Em vez disso, a solução de alimentação é aquecida dentro do tubo quando ela passa de módulo para módulo.

A Figura 1 é um desenho esquemático que mostra o padrão de fluxo geral em um processo de pervaporação representativo de acordo com este aspecto. Referindo-se à Figura 1, o processo é realizado em um tubo ou alojamento, 101, usando uma série de quatro módulos de membrana, 102, 103, 104 e 105.

A solução de alimentação a ser tratada entra no processo através da linha 106. Em lugar de passar diretamente do módulo 102 para o módulo 103, o resíduo da solução de alimentação do módulo 102 escoar na trajetória de reaquecimento indicada como 107, que o leva de volta ao longo da superfície externa do módulo dentro do alojamento, e dali para dentro do segundo módulo 103 na série. De maneira similar, o resíduo do módulo 103 escoar na trajetória de reaquecimento, 108, a partir do módulo 104 escoar na trajetória de reaquecimento, 109, e a partir do módulo 105 escoar na trajetória de reaquecimento, 110. A solução tratada deixa o alojamento e o processo através da linha 111.

Será evidente a partir da Figura 1 que um processo equivalente pode ser realizado mediante a inversão da direção do padrão de fluxo, de modo que a solução de alimentação a ser tratada entra como a corrente 111, e a corrente de resíduo tratado sai como a corrente 106.

A Figura 1 mostra o resíduo do último módulo na série sendo reaquecida antes de deixar o processo. Isto é freqüentemente desejável, assim como sendo a via mais simples para configurar o processo, em que os mesmos

tipos de acessórios podem ser usados para o último módulo na série como para os outros módulos. Opcionalmente, no entanto, a última corrente de resíduo pode ser retirada diretamente do último módulo sem direcioná-la ao longo de uma trajetória de reaquecimento.

5 A invenção é agora descrita com maiores detalhes em seus vários aspectos. Na seguinte descrição, os inventores não discorreram longamente em pormenores sobre a escolha, fabricação e combinação de componentes convencionais do equipamento usado para realizar sua invenção. O projeto e unidade de tal equipamento são bem conhecidos na
10 técnica de engenharia química, e são familiares ao engenheiro ou facilmente disponíveis da literatura de indústria padrão.

 Será observado por aqueles de habilidade na técnica que as figuras são diagramas esquemáticos muito simples, destinadas a tornar claros os aspectos chaves do equipamento e processos da invenção, e que o
15 equipamento pode, e freqüentemente poderá, incluir componentes adicionais de um tipo padrão, tal como vedações, anéis O, conectores, canos, tampas de extremidade de alimentação, flanges, cavilhas e outros acessórios para unir e vedar os componentes de maneira estanque a fluidos quando necessário.

 A Figura 2 é um desenho esquemático que mostra, em corte
20 transversal longitudinal, um layout não limitativo representativo de módulos e tampas de extremidade em um processo de pervaporação da invenção em que os módulos de membrana estão contidos dentro de um tubo único. Referindo-se a esta figura, um alojamento, recipiente de pressão ou tubo, 201, contém uma série de módulos de membrana, neste caso, representados pelos três
25 módulos, 204, dos quais apenas um é rotulado para evitar números excessivos de linhas de orientação sobre os desenhos. Da mesma maneira, para ajudar na clareza, outros componentes de elementos associados com cada módulo, tais como a tampa de extremidade de resíduo, vedações e extremidade de alimentação, são identificados apenas uma vez no desenho.

O alojamento toma a forma de um invólucro cilíndrico, tendo dentro, 226, e fora, 227, superfícies e equipada com duas cabeças removíveis, 202 e 203. No desenho, as cabeças são mostradas como flangeadas, e admitidas de estarem conectadas ao invólucro por cavilhas (não mostrados),
5 embora qualquer meio conveniente de conectar as cabeças com o invólucro seja planejado de estar dentro do escopo desta forma de realização.

Na forma de realização mostrada na Figura 2, ambas as cabeças são desenhadas como removíveis. Esta disposição fornece a maior flexibilidade para unidade, manutenção e reparo, porque os elementos da
10 membrana podem ser carregados e removidos de cada extremidade.

Alternativamente, o projeto pode ser simplificado e permanentemente soldar a extremidade 203 ao corpo do recipiente ou fabricar como uma parte unitária do corpo do recipiente. Os módulos devem ser então carregados ou não carregados a partir de uma extremidade apenas, mas o
15 custo de fabricação do recipiente pode ser reduzido.

O tubo ou alojamento pode ser fabricado de qualquer material conveniente. Os alojamentos são geralmente produzidos de metal, em conformidade com os códigos apropriados para as condições de operação as quais devem ser expostas. Os processos de pervaporação não são geralmente
20 operados em pressões de alimentação substancialmente diferentes da atmosférica, embora eles possam ser operados em temperaturas elevadas, acima de 100 EC. No caso em que a alimentação é introduzida na pressão ambiente, e 40EC, por exemplo, um alojamento produzido de um plástico pode ser suficiente, contanto que o material tenha condutividade térmica
25 adequada. No caso em que a alimentação está sob pressão hidráulica elevada, ou muito quente, um alojamento de aço inoxidável ou carbono, por exemplo, pode ser necessária. Em geral, preferimos utilizar alojamentos de metal.

Um orifício de alimentação, 217, e um orifício de resíduo, 218, são posicionados próximos das extremidades do alojamento. Uma ou ambas

das placas ou cabeças de extremidade são ajustadas com, ou adaptadas para aceitar, o cano de coleta permeado, 209, através do qual o permeado tratado é removido do conjunto de processamento. Alternativamente, um orifício de permeado flangeado no qual os canos de permeação são conectados deve ser fornecido.

Os módulos ou elementos de membrana, 204, cada um tendo uma superfície longitudinal externa, 225, são dispostos em linha ao longo do tubo. Para ilustra a disposição, três módulos em série são mostrados na Figura 2. Como uma norma geral, preferimos utilizar pelo menos dois módulos e não mais do que cerca de seis, embora nossos processos podem ser realizados com qualquer número de módulos no tubo.

Os módulos podem conter qualquer tipo de membrana capaz de separar a solução de alimentação por pervaporação. Eles podem ser inorgânicos ou poliméricos, e podem ser acondicionados de qualquer maneira que os permita a se ajustar em série dentro do alojamento. Por exemplo, as membranas inorgânicas podem estar na forma tubular, com a membrana seletiva sobre a superfície interna ou externa. Este tipo de módulo é às vezes usado quando as próprias membranas de separação forem inorgânicas, ou forem sustentadas em uma membrana de suporte inorgânica, por exemplo.

Se as membranas forem poliméricas, elas podem ser preparadas como lâminas planas e acondicionadas como módulos enrolados em espiral, ou como fibras ocas e acondicionadas como módulos de fibra oca envasada, por exemplo.

Estas formas são bem conhecidas na técnica e são descritas copiosamente na literatura. Pela simplicidade, portanto, os detalhes de colocação e conexão de módulo, e o fluxo de fluido ao redor e dentro dos módulos, são descritos abaixo quando eles se referem às membranas poliméricas acondicionadas como módulos enrolados em espiral. Aqueles de habilidade na técnica observarão que disposições similares podem ser usadas

para outros tipos de módulos, sujeitas apenas a modificações simples secundárias que são necessárias.

Um módulo enrolado em espiral compreende um ou mais envelopes de membrana de espaçadores e membrana enrolada ao redor de um cano de coleta permeado central perfurado, 206. Tipicamente, o cano de projeta a partir do módulo em ambas as extremidades, como mostrado na figura. O cano pode ser produzido de qualquer material adequado, tal como plástico ou metal.

Quando o módulo estiver em uso para a pervaporação, o líquido de alimentação entra na extremidade de alimentação, 223, e passa longitudinalmente ao longo do módulo através da carcaça de membrana. Uma parte da alimentação penetra como vapor dentro da carcaça de membrana, onde se espirala em direção ao centro, é sorvida através das perfurações no cano de coleta permeado e sai através da extremidade do cano. O resíduo da solução de alimentação sai do módulo na extremidade de resíduo, 224.

Os módulos são conectados de extremidade a extremidade, o que significa que o gás de permeação que deixa um módulo pode fluir para dentro do cano de permeação do próximo módulo. Isto pode ser obtido por ter um cano formado contínuo longo ao redor do qual múltiplos módulos de membrana são enrolados. Mais preferivelmente, no entanto, os canos de permeação dos módulos individuais são canos separados unidos por conectores estanques a gás ou acoplamentos, 207. Se o permeado for para ser retirado de uma extremidade apenas, a linha de canos é vedada na outra extremidade pela tampa de extremidade, 208.

Os módulos são vedados contra as paredes do tubo por vedações anulares, 205, para impedir o desvio da solução de alimentação do módulo, e para separar a solução de resíduo que sai de um módulo da entrada de solução de alimentação deste módulo.

Na extremidade de resíduo dos módulos estão as tampas de

extremidade, 210, tipicamente produzidas de aço ou plástico. Uma maior perspectiva de uma configuração de tampa de extremidade representativa não limitativa é mostrada na Figura 3. Referindo-se a esta figura, o tubo, 301, contém um módulo, 302, estabelecido na tampa de extremidade, 304. A tampa de extremidade é tipicamente segura na conexão estanque a fluido contra o tubo por um anel O ou outra vedação, não mostrado. A tampa de extremidade é adaptada de modo que o cano de coleta permeado, 303, pode se adaptar através dela. Isto pode ser executado de várias maneiras, tais como pela formação da tampa de extremidade como duas peças semicirculares, como debatido mais abaixo, ou por fornecer uma abertura adequadamente dimensionada na tampa de extremidade usando uma vedação estanque a fluido para impedir a solução residual vazar através da abertura.

O módulo é mantido seguramente na tampa de extremidade, tipicamente por colagem, de modo que um pequeno espaço de resíduo, dentro do qual o líquido residual que deixa a membrana possa passar, é fornecido. Um ou mais canais de direcionamento do fluido, 306, são fornecidos na tampa, de modo que a solução residual que sai do módulo é direcionado como mostrado pela flecha dentro do espaço, área ou zona de reaquecimento anular, 308.

Um furo ou canal de saída, 307, direciona o fluido residual como mostrado pela flecha do espaço de reaquecimento para o espaço de alimentação, 309, do próximo módulo.

Um corte transversal radial da tampa de extremidade 304, tomado ao longo da linha A--NA que se mostra na direção das flechas, é mostrado na Figura 4. A tampa de extremidade possui uma forma de xícara rasa, com uma parte do aro, 401, e uma parte de base, 402.

No centro da parte de base está uma abertura circular, 403, dimensionada para acomodar o cano de permeação do módulo. O canal, 405, é perfurado em linha reta através da espessura do aro e da base, e corresponde

a saída 307 na Figura 3. O furo é mostrado como cilíndrico, mas pode ser de qualquer forma desejada. A figura mostra um furo; múltiplos furos também podem ser usados.

5 A abertura, 404, representa a extremidade aberta do canal 306 na Figura 3. Isto também é mostrado como cilíndrico, mas pode ser de qualquer outra forma desejada, tal como uma fenda. Novamente, um ou múltiplos canais podem ser usados. Para facilitar o trabalho à máquina deste canal, a tampa é preferivelmente fabricada em duas metades e fixada ao longo da linha B-BN.

10 Um corte transversal radical tomado ao longo da linha A--AN e visto do outro lado, quando se deve opor à extremidade de alimentação do próximo módulo quando no lugar do tubo, é mostrado na Figura 5. A parte de base, 501, é perfurada mediante a permeação da abertura do cano, 502, e furo, 503, através do qual o resíduo aparece como alimentação para o próximo
15 módulo.

Retornando-se à Figura 2, cada módulo é circundado por um espaço, área ou zona de reaquecimento anular, 211, (que corresponde ao espaço 308 na Figura 3), definido pela superfície externa do módulo, a superfície interna do tubo, vedação 205, e a tampa da extremidade de resíduo.
20 O fluido a ser reaquecido entra nesta zona através da abertura, 212 (a saída do canal 306 na Figura 3), e deixa para o próximo módulo na série através do furo, 213 (que corresponde ao elemento 307 na Figura 3).

Uma carcaça externa, 214, é ajustada no lado de fora do tubo, e equipado com orifícios, 215 e 216, através dos quais um fluido de aquecimento, por exemplo, vapor ou óleo quente, pode ser passado.
25 Na alternativa, qualquer meio de aquecimento do lado de fora do tubo pode se substituído.

O processo de pervaporação da invenção é agora descrito em uma maneira representativa como é realizado usando o sistema da Figura 2.

A solução de alimentação a ser tratada entra como mostrado pela seta tracejada, 219, através do orifício de alimentação. Uma força de acionamento para a permeação da transmembrana é fornecida da maneira normal para a pervaporação mediante a manutenção da pressão de vapor do líquido de alimentação mais elevada do que a pressão de vapor do lado de permeado.

Embora qualquer técnica possa ser usada para obter esta diferença de pressão, o meio mais comum e mais simples é aquecer a solução de alimentação antes da sua introdução dentro do equipamento. A temperatura em que a alimentação é aquecida pode ser selecionada pelo artífice versado em consideração das circunstâncias específicas da operação. Para soluções de alimentação aquosas, uma temperatura entre cerca de 30EC e 100EC é geralmente usada. Para soluções de ponto de ebulição mais elevado, ou que são mantidas sob pressão elevada, temperaturas mais elevadas, tais como 120EC ou mais, são possíveis e podem ser preferidas em algumas circunstâncias para aumentar o fluxo.

Na pervaporação, o lado de permeado das membranas é mantido em condições de pressão e temperatura que resultam em uma permeação de fase vapor. A pressão baixa sobre o lado de permeado pode ser obtida da maneira normal, tal como por simplesmente esfriar e condensar o permeado quando for retirado do sistema ou mediante o uso de uma bomba a vácuo para retirar um vácuo parcial.

A solução de alimentação entra no primeiro módulo, onde é separado de acordo com os princípios de pervaporação em uma solução residual (isto é, o resíduo da solução de alimentação que permanece no lado de alimentação das membranas e que sai da extremidade de resíduo do módulo), e um vapor de permeação, cada um tendo uma composição diferente da solução de alimentação. Exemplos representativos incluem:

(a) uma solução de alimentação que compreende cerca de 10

% de etanol em água, separada em um vapor de permeação contendo 40 % de etanol e uma solução residual contendo de 2 a 3 % de etanol, usando membranas de borracha de silicona nos módulos;

5 (b) uma solução de alimentação de gasolina bruta em uma refinaria compreendendo um total de 30 % de tolueno, benzeno e outros aromáticos, separada em uma corrente de gasolina residual contendo abaixo de 25 % de aromáticos totais e um vapor de permeação contendo 70 % de aromáticos, usando uma membrana de dióxido fluorado.

10 (c) uma solução de alimentação de 5 % de água em ácido acético, desidratada para uma solução residual de água 0,5 % e um vapor de permeação contendo 60 % de vapor de água, usando uma membrana de álcool polivinílico (PVA).

Quando a separação ocorre, o calor latente requerido para evaporar os componentes de permeação é fornecido a partir do líquido de
15 alimentação, assim a solução residual que deixa o módulo é significativamente mais frio, tal como 5EC, 10EC ou mais frio, dependendo de quanto o vapor de permeação é produzido.

A solução residual sai do módulo através de abertura 212 e escoar para dentro e através do espaço de reaquecimento, como indicado de
20 uma forma geral pela seta tracejada, 220, para se tornar a solução de alimentação para o próximo módulo.

Um fluido de aquecimento é passado através da carcaça externa, como indicado pelas setas tracejadas, 228 e 229, e escoar em contato com a superfície externa do tubo. O resíduo da solução de alimentação que
25 está escoando no espaço de reaquecimento é reaquecido pela troca térmica com o fluido de aquecimento através da parede do tubo.

A separação e as subseqüentes etapas de reaquecimento são repetidas ao longo do conjunto dos módulos, e a corrente de resíduo tratada final é retirada como indicado pela seta tracejada 221.

O vapor de permeação de cada módulo é coletado nos canos de permeação, 206 e retirado do sistema como indicado pela seta tracejada, 232.

Aqueles de habilidade na técnica observarão que o bloqueio de fluxo imediato do fluido da extremidade de resíduo de um módulo para a extremidade de alimentação do próximo módulo, e o direcionamento do fluido residual em, através e fora do espaço de reaquecimento, podem ser obtidos por qualquer meio de bloqueio de fluxo e direcionamento de fluxo adequadamente posicionado dentro do tubo entre, ou nas extremidades dos módulos, contanto que este meio seja funcionalmente equivalente aos elementos do mecanismo mostrado nas figuras até agora.

Como um exemplo, um equivalente simples é mostrado na Figura 6, em que uma tampa de extremidade de resíduo, 601, é mostrada em vista similar à Figura 4. Como na Figura 4, o furo, 606, passa através da espessura total do aro, 602, e a base, 603, para carregar o fluido residual do espaço de reaquecimento de um módulo para a entrada de alimentação do seguinte. A abertura, 604, é fornecida pelo cano de permeação.

Em lugar da abertura de canal 404, a tampa da Figura 6 possui uma série de cortes, 605, em um lado do aro, reduzidos até a parte da base. Quando o módulo é inserido em sua tampa, os cortes permitem o fluido fluir do espaço de resíduo para o espaço de aquecimento. A tampa pode ser produzida como duas peças, por exemplo, uma metade tendo os cortes e a outra o furo de saída do resíduo, e montada mediante a junção das peças ao longo da linha C-CN.

Um acessório opcional que promove o escoamento do fluido na extremidade do espaço de reaquecimento mais próximo da extremidade de alimentação do módulo é mostrado na Figura 9. Referindo-se a esta figura, a Figura 9a mostra um módulo e tampa da extremidade de resíduo como visto com a tampa de extremidade à esquerda da figura; a Figura 9b mostra o módulo como visto com a tampa de extremidade de resíduo à direita. Em

ambos os casos, o tamanho da tampa é exagerado para a clareza.

Referindo-se à Figura 9a, o módulo 901 é ajustado com a tampa da extremidade de resíduo, 902, através da qual se projeta o cano de permeação, 903. O furo, 904, fornece passagem para o fluido residual para
5 fora do espaço de reaquecimento de um módulo para o espaço de alimentação e extremidade de alimentação do próximo. Duas chicanas ou aletas, 905 e 906, são posicionadas diametralmente opostas uma a outra. As chicanas são ligadas à tampa de extremidade, da qual elas se estendem dentro e parcialmente ao longo da zona de reaquecimento.

10 Cada chicana possui um aproximadamente a mesma largura que a espessura radical do aro da tampa de extremidade. Isto pode ser visto mais claramente na Figura 9b, que simplesmente mostra, sem qualquer outro detalhe, o posicionamento da chicana 905 com respeito à tampa 902 e módulo 901. Quando o módulo com sua tampa de extremidade for inserido no tubo,
15 não mostrado, a chicana se ajustará contra a parede longitudinal externa do módulo e a parede interna do tubo. Este ajuste não necessita ser estanque a fluido, visto que o propósito da chicana é simplesmente direcionar o fluxo de fluido em certa medida.

Quando o módulo estiver em uso no processo da invenção, o
20 fluido residual do módulo será forçado pelas chicanas para fluir em uma trajetória como de uma forma geral indicada pela linha tracejada, 907 na Figura 9a. Isto é, o fluido residual sairá da tampa de extremidade para dentro do espaço de reaquecimento, onde será direcionado ao longo do comprimento do módulo pelas chicanas até que possa passar para o outro lado das chicanas
25 e ser puxado para fora através do furo, 904.

As chicanas são mais convenientemente ligadas à tampa de extremidade, embora ficará evidente que elas podem ser ligadas ao módulo ou, menos preferivelmente, ainda dentro do tubo.

A Figura 9 mostra um par de chicanas e aletas. Mais pares, em

conjunto com múltiplos canais de direcionamento de fluido na tampa de extremidade, podem ser usados para facilitar a distribuição da solução residual no espaço de reaquecimento.

5 A Figura 9 também mostra as chicanas como retas, embora as chicanas curvadas possam ser opcionalmente usadas para direcionar o fluido residual em uma trajetória curva, tal como uma trajetória helicoidal, como alternativa.

Um exemplo de uma maneira diferente de obter o bloqueio do fluxo em linha reta do fluido a partir da extremidade de resíduo de um módulo até a extremidade de alimentação do próximo é mostrado na Figura 10. Neste caso, o fluido sai da extremidade de resíduo do módulo da maneira convencional, mas o meio de bloqueio do fluxo e direcionamento do fluxo toma a forma de uma placa de direcionamento de fluxo adaptada que é adicionada entre os módulos.

15 Referindo-se à Figura 10, o tubo 1001 contém uma série de módulos 1002, dos quais apenas um módulo representativo é mostrado na íntegra. Os módulos são vedados contra as paredes do tubo por vedações anulares 1003, e são equipados com canos de permeação 1004, que são conectados entre si por acoplamentos ou conectores 1005.

20 Em lugar das tampas de extremidade de direcionamento do fluxo adaptadas mostradas nas figuras de 2 a 6, o mecanismo é fornecido com placas de direcionamento de fluxo 1006, através das quais os canos de permeação podem passar como mostrado. Em alguns aspectos, estas placas se parecem com lâminas tubulares, na medida em que elas podem manter os
25 canos de permeação no lugar.

O mais importante, no entanto, as placas bloqueiam o fluxo em linha reta do fluido da extremidade de resíduo de um módulo até a extremidade de alimentação do próximo. As placas são perfuradas pelos tubos ou condutos ocos 1007, que se estendem da placa, de modo que elas

permaneçam ao longo do espaço de reaquecimento 1009, sobre uma parte do comprimento do módulo.

O posicionamento dos condutos ocios é mais facilmente visto em corte transversal radical, como na Figura 11. Nesta visão, a placa de direcionamento de fluxo 1001 possui uma face sólida 1102, um mecanismo 1103, através da qual um cano de permeação pode passar, e uma série de condutos ou tubos ocios 1104 posicionados ao redor da periferia da face 1102 fora do perímetro 1105 do módulo.

Como com as chicanas da Figura 9, os condutos são mostrados como tubos retos, mas podem ser curvados.

Para realizar o processo da invenção, um líquido de alimentação para separação é passado através do conjunto de módulos, geralmente como descrito acima com respeito à Figura 2. Neste caso, o líquido que sai da extremidade de resíduo do módulo é forçado pela placa de direcionamento de fluxo para fluir para dentro do espaço de reaquecimento 1009 de acordo com a trajetória do fluxo indicada de uma forma geral pela linha tracejada 1008. Após ter passado através do espaço de reaquecimento, o líquido entra nos tubos ocios, e escoam através deles para sair dentro do espaço de alimentação 1010, do próximo módulo.

Em um segundo aspecto, a invenção utiliza múltiplas séries de módulos, montados em múltiplos tubos, os tubos sendo montados em uma unidade, recipiente ou alojamento único. A invenção neste aspecto possui certas características em comum com os pedidos de patente co-apropriados e co-pendentes números de série 11/050.995; 11/271.402 e 11/484.547, que descrevem as utilizações e vantagens de alojamentos de múltiplos tubos para a separação de gás. Informação adicional com respeito a disposição dos elementos correspondentes do mecanismo, operação, benefícios, e assim por diante pode ser observada nestes pedidos de patente.

A Figura 7 é um desenho esquemático que mostra, em corte

transversal longitudinal, um layout representativo não limitativo de módulos e tampas de extremidade para realizar um processo de pervaporação preferido da invenção usando uma tal configuração. Os detalhes da disposição dos módulos, canos de permeação e tampas de extremidade dentro de um tubo que foram descritos com respeito à Figura 2, são aplicáveis dentro dos tubos desta forma de realização da mesma forma.

Referindo-se à Figura 7, a unidade inclui um recipiente 701, contendo uma pluralidade de tubos 708. Três tubos, dos quais apenas um da parte de cima é rotulado para evitar longas linhas de direção sobre outras partes do desenho, são visíveis na vista de seção longitudinal. A figura representa uma unidade com 7 tubos no total, mostrados em vista radial na Figura 8, debatida abaixo. As extremidades dos tubos são abertas para deixar o fluxo fluir para dentro e para fora dos tubos.

O alojamento possui extremidades de alimentação e permeação 702. No desenho, as extremidades de alimentação e permeação são mostradas como extremidades flangeadas removíveis, conectadas ao corpo do invólucro por cavilhas (não mostradas). No entanto, qualquer meio conveniente de conexão das extremidades destina-se estar dentro do escopo desta forma de realização, e em algumas variantes, debatidas abaixo, apenas uma extremidade necessita ser removível.

O alojamento possui cinco orifícios para a admissão ou remoção dos fluidos. Um orifício de alimentação 705, é posicionado próximo da extremidade de alimentação e o orifício de resíduo 706 e o orifício de permeação 707 são posicionados próximos da extremidade de permeação. Os orifícios 703 e 704 fornecem acesso ao interior 716 do alojamento fora dos tubos. Um fluido de aquecimento, tal como vapor ou óleo quente, pode ser escoado através do alojamento mediante a passagem do fluido quente no orifício 703 e retirada pelo orifício 704 (ou vice versa).

Cada tubo 708 contém elementos ou módulos de membrana

709. Para clareza, o(s) módulo(s) de membrana é/são desenhado(s) na íntegra no início do tubo, e indicado(s) apenas nas extremidades e pelas partes tracejadas nos outros tubos. Quatro elementos de membrana são mostrados, embora qualquer número conveniente pode ser usado.

5 O cano de permeação 712 representa o comprimento total dos canos de permeação e conectores, e é geralmente configurado com um cano de permeação separado para cada elemento de membrana, como mostrado na Figura 2, por exemplo. Os módulos são vedados contra as paredes do tubo por vedações anulares 710 na extremidade de alimentação. Na extremidade de
10 resíduo, cada módulo possui uma tampa de extremidade de resíduo 711. As tampas de extremidade podem ser configuradas de qualquer maneira, tal como aquelas debatidas anteriormente e mostradas nas Figuras 3, 4, 5 e 6, que permite a solução de alimentação sob tratamento sair como uma corrente de resíduo para dentro dos espaços de reaquecimento 717, e passar dali para a
15 extremidade de alimentação do próximo módulo, de maneira similar a aquele mostrado na Figura 2.

 Alternativamente, qualquer outro método de bloqueio e direcionamento do fluxo de fluido de um módulo para o próximo, tal como mediante o uso das placas de direcionamento de fluxo mostradas nas Figuras
20 10 e 11, pode ser usado.

 Uma lâmina tubular de extremidade de alimentação 713 é soldada ou de outra maneira montada no alojamento em direção à extremidade de alimentação. A lâmina tubular sustenta os tubos na conexão separadamente espaçada uns com os outros.

25 Na outra extremidade do alojamento, duas lâminas tubulares são fornecidas, A lâmina tubular 714, sustenta os módulos e direciona o fluido residual a partir dos tubos individuais até o orifício de resíduo, 706. A lâmina tubular 715, permite a passagem dos canos de permeação e direciona as correntes de permeação combinadas a partir dos canos de permeação

individuais até o orifício de permeação 707.

Na forma de realização mostrada na Figura 7, ambas as lâminas tubulares 713 e 714 possuem aberturas que correspondem em largura ao diâmetro do tubo, e ambas as cabeças são representadas como removíveis.

5 Esta disposição fornece a maior flexibilidade com relação a unidade ou manutenção.

Se a lâmina tubular 715 for soldada ou de outra maneira permanentemente fixada no alojamento, como geralmente será o caso, então também teria aberturas grandes o bastante para passar os módulos de lado a
10 lado, se a capacidade de carregar ou descarregar os módulos da extremidade de permeação for necessária. Isto pode ser executado por fornecer aberturas grandes, mas vedando o espaço anular ao redor do cano de permeação com uma placa de extremidade, como mostrado na Figura 2 do número de série 11/050.995.

15 Se os módulos não puderem ser passados através da lâmina tubular 715, então a extremidade de permeação do alojamento pode ser permanentemente soldada ou formada como uma parte unitária com o invólucro do alojamento.

A Figura 8 mostra um diagrama layout em corte transversal
20 radial de uma unidade preferida tal como aquela da Figura 7, contendo sete tubos. O corte transversal mostra a colocação dos tubos dentro do alojamento ou unidade, como visualizado observando na extremidade de alimentação do alojamento.

Referindo-se à Figura 8, o alojamento ou unidade 801 é
25 equipado com flange 802, tendo orifícios de cavilha 803, para fixação da extremidade ou extremidade de alimentação. A lâmina tubular da extremidade de alimentação 804 possui aberturas 805 para sustentar os tubos. Da extremidade de alimentação do módulo 807, projeta-se o cano de permeação 808.

As vedações 806 correspondem a vedações anulares 710, na Figura 7, e sustentam os módulos na conexão estanque a fluido contra as paredes do tubo. O orifício de alimentação 810 e o orifício de vapor ou outro fluido de aquecimento 809, são visíveis.

5 Dentro dos limites da prática de engenharia, o alojamento pode conter qualquer número de tubos. Por exemplo, um outro anel de tubos pode ser adicionado fora o anel de seis na Figura 8, para um total de 19 tubos.

10 Para realizar o processo da invenção usando um alojamento de múltiplos tubos do tipo mostrado na Figura 7, vapor ou outro fluido de aquecimento é escoado no alojamento fora dos tubos. A solução de alimentação a ser tratada é introduzida através do orifício 705, entra nos tubos individuais e é tratada da maneira descrita acima com referência à Figura 2.

15 A troca de calor ocorre através das paredes do tubo entre o fluido de aquecimento que escoar no espaço interior 716 e o fluido residual que escoar nos espaços de reaquecimento 717. A corrente de resíduo tratada sai de cada tubo e escoar para fora da unidade através do orifício 706. O vapor de permeação escoar ao longo dos tubos 712 e para fora da unidade através do orifício 707.

20 Em um terceiro aspecto, a invenção é o equipamento, sistema ou mecanismo de pervaporação usado para realizar os processos de separação por pervaporação descritos acima. No caso em que apenas um tubo dos módulos é usado, o mecanismo é como descrito e mostrado pela Figura 2 e equivalentes. No caso em que múltiplos tubos em uma unidade única são usados, o equipamento é como descrito e mostrado pela Figura 7 e
25 equivalentes.

A invenção é agora ilustrada com maiores detalhes pelos exemplos específicos. Estes exemplos são planejados para esclarecer ainda mais a invenção, e não são destinados para limitar o escopo de qualquer maneira.

EXEMPLOS

EXEMPLO 1

Uma versão em escala de bancada do mecanismo da Figura 2 foi construída. O tubo continha dois módulos de 4 polegadas de diâmetro, contendo membranas seletivas de etanol. O alojamento foi adaptado com termopares de modo que a temperatura da solução de alimentação possa ser medida quando escoar através do mecanismo. Desta maneira, a queda de temperatura da solução de alimentação real durante uma experiência de pervaporação pode ser comparada com a queda de temperatura teórica que teria ocorrido na ausência de reaquecimento.

Uma série de testes de pervaporação usando uma solução de alimentação contendo cerca de 10 % em peso de etanol foi executada. Em cada teste, 25 galões de solução de alimentação de etanol/água foram carregados em um tanque de alimentação e escoados através do sistema. A pressão de permeação foi mantida em cerca de 50 torr. Óleo quente foi escoado como fluido de aquecimento. Em estado constante, as leituras de temperatura foram obtidas dos termopares em vários locais ao longo do tubo de módulo.

As medições da quantidade e composição do permeado foram usadas para calcular a permeação e seletividade da membrana em várias condições.

Os cálculos de permeação foram usados para prognosticar a perda de calor teórica que teria ocorrido se não existisse nenhum reaquecimento. Os resultados para uma série de experiências em que a solução de alimentação estava inicialmente em 58EC, a temperatura de óleo foi 69EC, a taxa de fluxo de alimentação foi 1 gpm, e cerca de 0,8 % em peso da solução de alimentação passou através das membranas em cada módulo, são mostrados na Figura 12.

Se a separação foi conduzida sob condições em que nenhum

aquecimento externo fosse fornecido, a temperatura da solução residual final teria caído para cerca de 49EC, isto é, cerca de 9EC mais baixo do que a temperatura da solução de alimentação, como mostrado pela linha reta na figura.

5 Visto que o fluxo de transmembrana depende da pressão de vapor dos componentes de permeação, e a pressão de vapor depende da temperatura, uma queda de temperatura de 9EC corresponde a uma queda significativa no fluxo da transmembrana (até cerca de 35 % de perda para o fluxo) para esta separação.

10 Usando o mecanismo e processo de acordo com a invenção, a temperatura de alimentação original foi restaurada pelo reaquecimento do resíduo da solução de alimentação do primeiro módulo antes da solução entrar no segundo módulo. Nesta experiência, uma diferença de 11EC entre o fluido de aquecimento e as temperaturas iniciais do fluido de alimentação foi
15 suficiente para reaquecer a solução residual para a temperatura de operação desejada (e em consequência para manter o fluxo de transmembrana), como mostrado pela linha recortada.

 A experiência mostrou que a invenção fornece um processo de pervaporação eficaz, sem necessitar de reaquecer a solução de alimentação
20 fora do tubo.

EXEMPLO 2

 Uma outra série de experiências foi realizada seguindo o mesmo procedimento com descrito para o Exemplo 1, exceto que o fluido de aquecimento estava em 90EC em vez de 69EC, e a temperatura inicial da
25 solução de alimentação era 72EC, não 58EC.

 Os resultados desta série de experiências são comparados com aqueles do Exemplo 1 na Figura 13.

 Como pode ser visto, em uma temperatura de alimentação de 58°C, a queda de temperatura ao longo de um módulo único foi apenas ao

redor de 3 a 4EC, enquanto em uma temperatura de alimentação de 72EC, a queda de temperatura foi ao redor do dobro, em 8 a 10EC per módulo. Na temperatura de alimentação mais elevada, o fluxo de transmembrana é mais elevado, assim a quantidade de permeado a ser evaporado é maior, e o calor extraído da solução de alimentação para fazer isto é maior, resultando em uma maior queda de temperatura.

A maior queda de temperatura significa que para manter a temperatura de alimentação de entrada para cada módulo em 72EC, uma diferença de temperatura de 18EC entre a solução de alimentação e o fluido de aquecimento foi requerida. Ao contrário, em uma temperatura de alimentação de 58°C, com fluxo mais baixo e queda de temperatura mais baixa, uma diferença de temperatura de apenas 11°C foi requerida.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de pervaporação, caracterizado pelo fato de que compreende as seguintes etapas:

5 (a) passar uma solução de alimentação a ser tratada através de uma série de múltiplos módulos de membrana, cada módulo de membrana tendo uma superfície longitudinal externa, uma extremidade de alimentação e uma extremidade de resíduo, os módulos de membrana sendo alojados em um tubo isolado tendo uma superfície interna e uma externa, para separar a solução de alimentação sob condições de pervaporação em uma corrente de resíduo e uma corrente de permeação; e

(b) obter um reaquecimento inter-módulo da solução de alimentação quando ela passa ao longo da série mediante:

15 (i) o escoamento da solução de alimentação que sai da extremidade de resíduo de um módulo de membrana na série pelo menos parcialmente de volta na direção da extremidade de alimentação deste módulo de membrana em uma zona de reaquecimento definida pela superfície longitudinal externa deste módulo de membrana e a superfície interna do tubo antes da solução de alimentação ser autorizada a entrar na extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série; e

20 (ii) o aquecimento da superfície externa do tubo.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a série compreende pelo menos três módulos de membrana.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende água.

25 4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende um composto orgânico.

5. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende etanol.

6. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende uma mistura de hidrocarbonetos.

5 7. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação é mantida em uma temperatura entre 30EC e 120EC durante o processo.

8. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a superfície externa do tubo é aquecida por vapor.

10 9. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, na etapa (b)(i), o módulo de membrana possui uma tampa de extremidade em sua extremidade de resíduo, e a tampa de extremidade é adaptada para bloquear o fluxo de fluido direto na extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série e para direcionar o fluxo de fluido a partir da extremidade de resíduo para a zona de reaquecimento.

15 20 10. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, na etapa (b)(i), uma placa de direcionamento de fluxo é usada entre os módulos de membrana seqüenciais na série para direcionar o fluxo de fluido a partir da extremidade de resíduo até a zona de reaquecimento.

11. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que pelo menos duas chicanas são posicionadas na zona de reaquecimento.

25 12. Processo de pervaporação, caracterizado pelo fato de que compreende as seguintes etapas:

(a) fornecer um recipiente em que múltiplos tubos são montados em paralelo, cada tubo tendo uma superfície interna e uma externa e contendo uma série de múltiplos módulos de membrana, cada módulo de membrana tendo uma superfície longitudinal externa, uma extremidade de

alimentação e uma extremidade de resíduo;

(b) passar uma solução de alimentação a ser tratada através dos módulos de membrana para separar a solução de alimentação sob condições de pervaporação em uma corrente de resíduo e uma corrente de permeado;

5 (c) obter um reaquecimento inter-módulo da solução de alimentação quando ela passa ao longo da série de módulos de membrana mediante:

10 (i) o escoamento da solução de alimentação que sai da extremidade de resíduo de um módulo de membrana na série pelo menos parcialmente de volta em direção à extremidade de alimentação deste módulo de membrana em uma zona de reaquecimento definido pela superfície longitudinal externa deste módulo de membrana e a superfície interna do tubo antes da solução de alimentação é permitida entrar na extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série; e

15 (ii) o aquecimento das superfícies externas dos tubos mediante o escoamento de um fluido de aquecimento através do recipiente.

13. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a série compreende pelo menos três módulos de membrana.

20 14. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende água.

15. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende um composto orgânico.

25 16. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende etanol.

17. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a solução de alimentação compreende uma mistura de hidrocarbonetos.

18. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado

pelo fato de que a solução de alimentação é mantida em uma temperatura entre 30EC e 120EC durante o processo.

19. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que o fluido de aquecimento é vapor.

5 20. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que, na etapa (c)(i), o módulo de membrana possui uma tampa de extremidade em sua extremidade de resíduo, e a tampa de extremidade é adaptada para bloquear o fluxo de fluido direto na extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série e para direcionar o
10 fluxo de fluido a partir da extremidade de resíduo para a zona de reaquecimento.

21. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que, na etapa (c)(i), uma placa de direcionamento de fluxo é usada entre os módulos de membrana seqüenciais na série para direcionar o
15 fluxo de fluido a partir da extremidade de resíduo até a zona de reaquecimento.

22. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que pelo menos duas chicanas são posicionadas na zona de reaquecimento.

20 23. Unidade de pervaporação, caracterizada pelo fato de que compreende:

(a) uma série de múltiplos módulos de membrana, cada módulo de membrana tendo uma superfície longitudinal externa, uma extremidade de alimentação e uma extremidade de resíduo, e incluindo um
25 cano de permeação que se projeta a partir do módulo de membrana, os módulos de membrana tendo seus canos de permeação conectados em uma maneira de extremidade a extremidade;

(b) um tubo contendo os módulos de membrana, o tubo compreendendo pelo menos uma cabeça removível e um invólucro tendo uma

superfície interna e uma superfície externa, o tubo sendo fornecido com um orifício de entrada de alimentação e um orifício de saída de resíduo e adaptado de modo que a corrente de permeação que escoar através dos canos de permeação pode ser retirada do tubo;

5 (c) uma vedação anular para cada módulo de membrana, posicionada de modo a fornecer uma vedação estanque a fluidos entre a superfície longitudinal externa do módulo e a superfície interna do tubo;

(d) meios de bloqueio do fluxo e direcionamento do fluxo posicionados no tubo de modo a bloquear o fluxo de imediato de um fluido a partir da extremidade de resíduo de um módulo de membrana até a
10 extremidade de alimentação do próximo módulo de membrana na série;

(e) uma zona de reaquecimento anular entre a superfície longitudinal externa de um módulo de membrana e a superfície interna do tubo;

15 os meios de bloqueio de fluxo e direcionamento de fluxo sendo adaptados para direcionar o fluido residual direto para dentro e fora da zona de reaquecimento; e

(f) meios para o aquecimento da superfície externa do tubo.

24. Unidade de pervaporação de acordo com a reivindicação
20 23, caracterizada pelo fato de que o meio de bloqueio de fluxo e direcionamento de fluxo compreende uma tampa de extremidade montada sobre a extremidade de resíduo, e a tampa de extremidade incluindo um canal de direcionamento de fluxo para fornecer a comunicação de fluido a partir da extremidade de resíduo para a zona de reaquecimento e um furo externo para
25 fornecer a comunicação de fluido a partir da zona de reaquecimento até a extremidade de alimentação no próximo módulo de membrana na série.

25. Unidade de pervaporação de acordo com a reivindicação 24, caracterizada pelo fato de que compreende adicionalmente múltiplas chicanas que se estendem a partir da tampa de extremidade dentro e

parcialmente ao longo da zona de reaquecimento.

26. Unidade de pervaporação de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de que o meio de bloqueio de fluxo e direcionamento de fluxo compreende uma placa de direcionamento de fluxo posicionada entre os módulos de membrana seqüenciais na série.

27. Unidade de pervaporação de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de que o meio para o aquecimento da superfície externa compreende uma carcaça adaptada no lado externo do tubo, e equipado com orifícios através dos quais um fluido de aquecimento pode ser passado.

28. Unidade de pervaporação de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de que compreende múltiplas séries de módulos de membrana, contidas em múltiplos tubos, e compreendendo adicionalmente um recipiente em que os tubos são montados, o recipiente tendo um interior e sendo equipado com orifícios através dos quais um fluido de aquecimento pode ser escoado no interior fora dos tubos, este fluido de aquecimento sendo o meio para o aquecimento da superfície externa dos tubos.

29. Unidade de pervaporação de acordo com a reivindicação 28, caracterizada pelo fato de que o recipiente contém sete tubos.

30. Unidade de pervaporação de acordo com a reivindicação 28, caracterizada pelo fato de que a série compreende pelo menos três módulos de membrana.

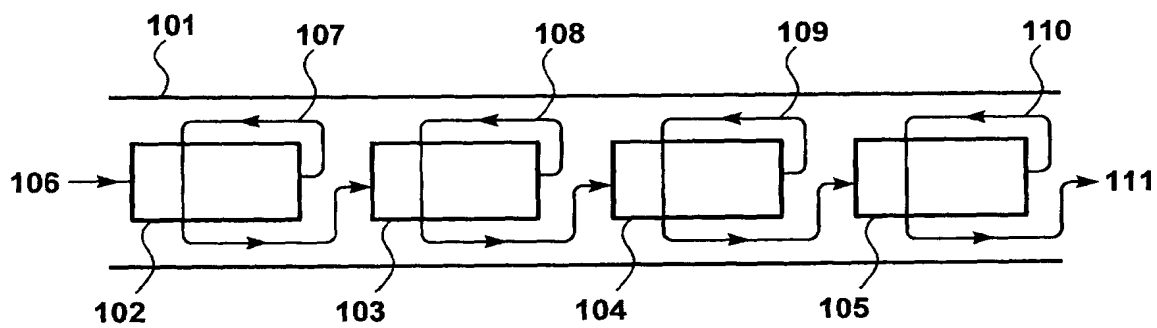


FIG. 1

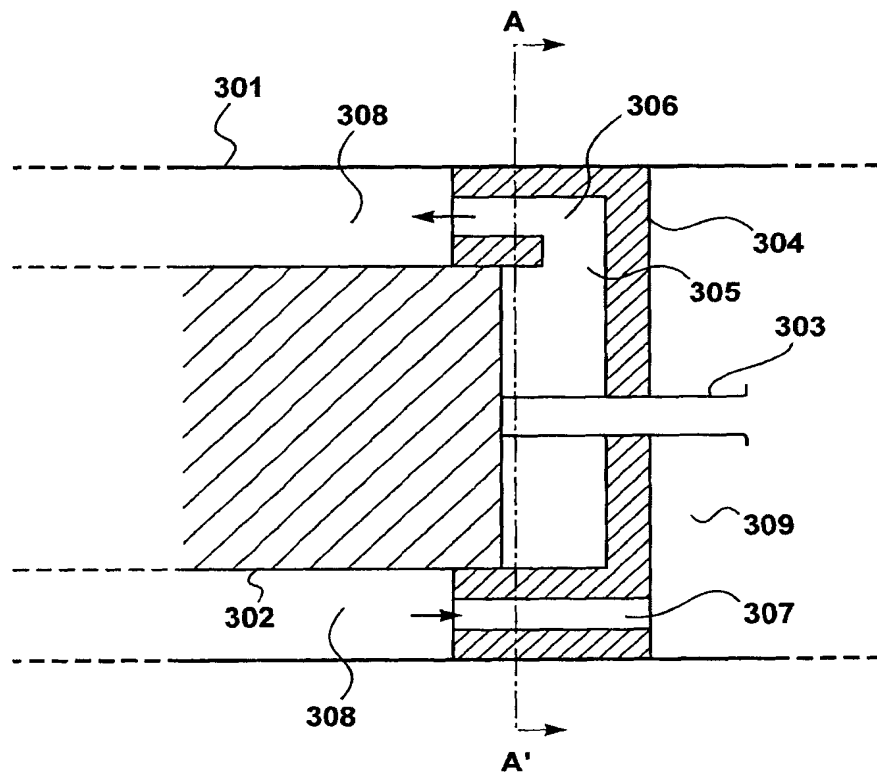


FIG. 3

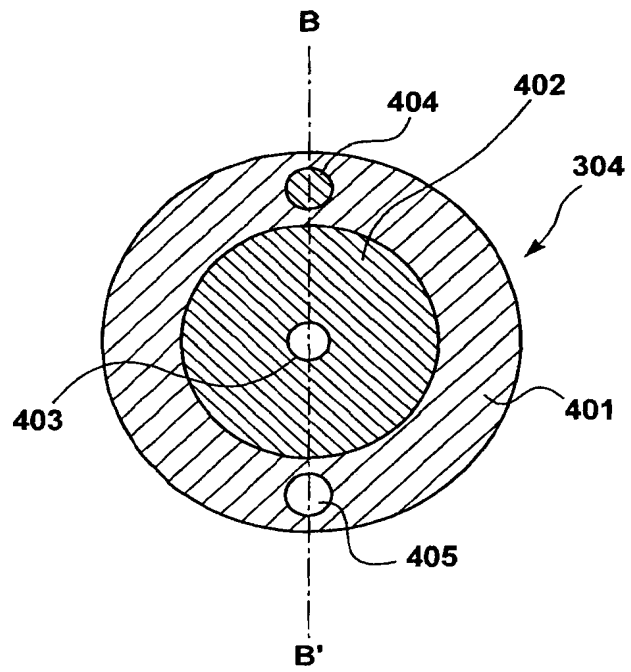


FIG. 4

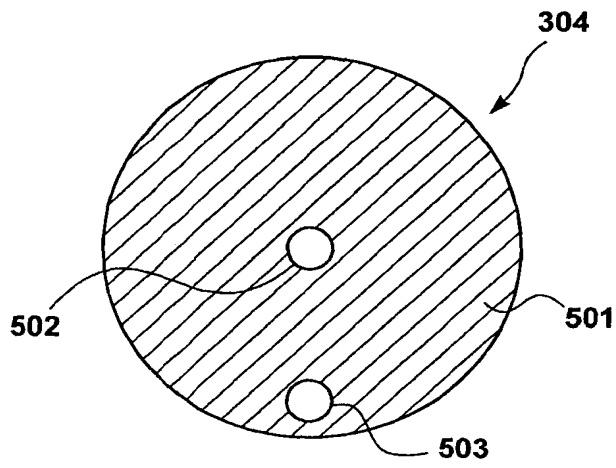


FIG. 5

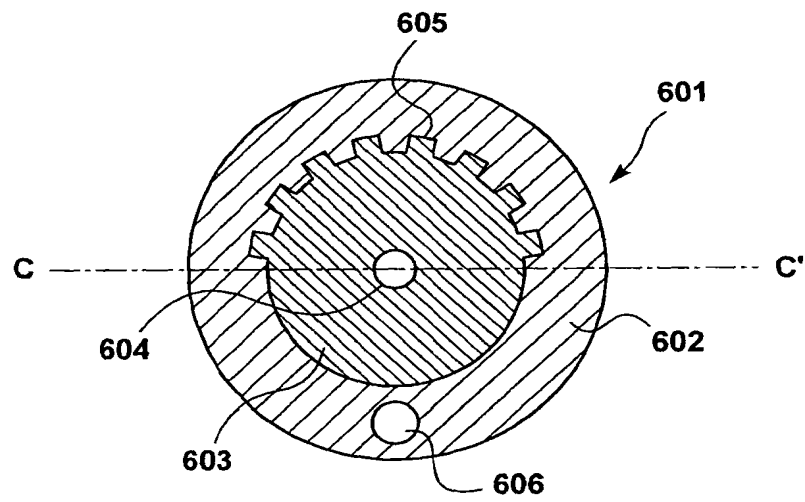


FIG. 6

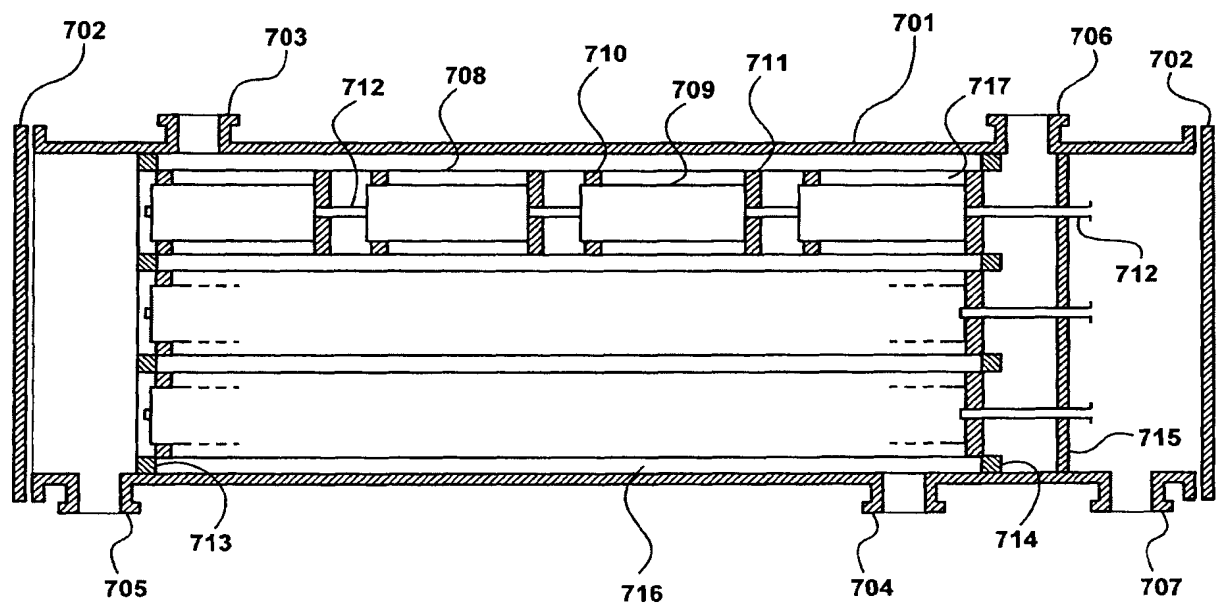


FIG. 7

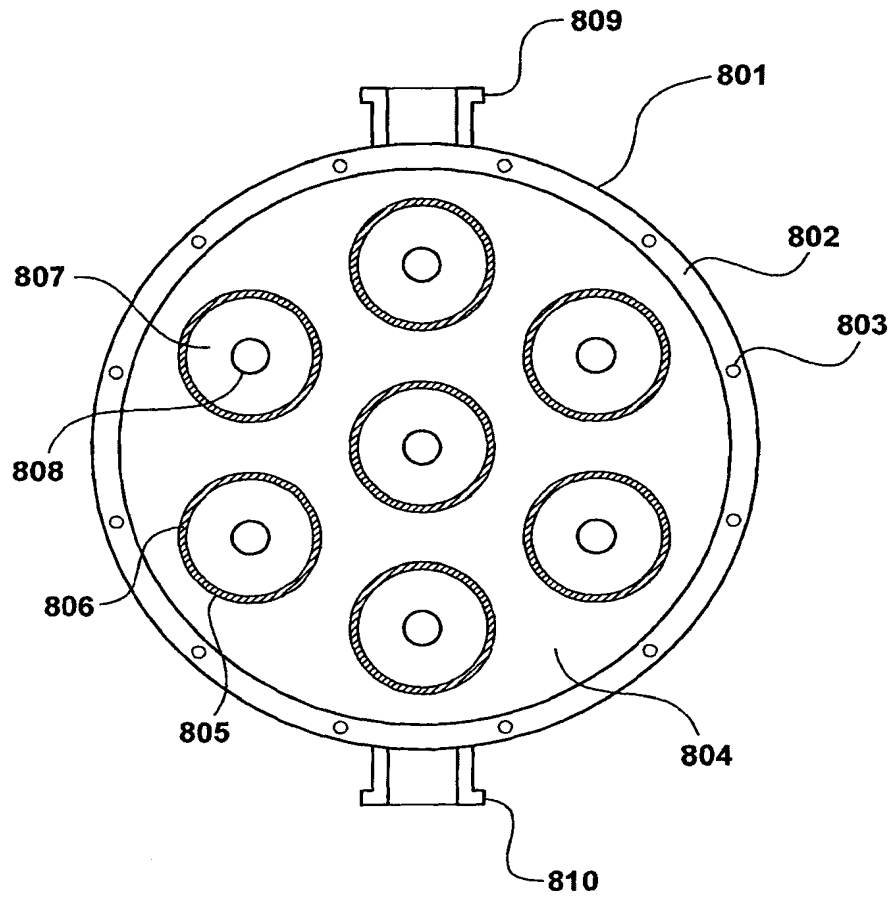


FIG. 8

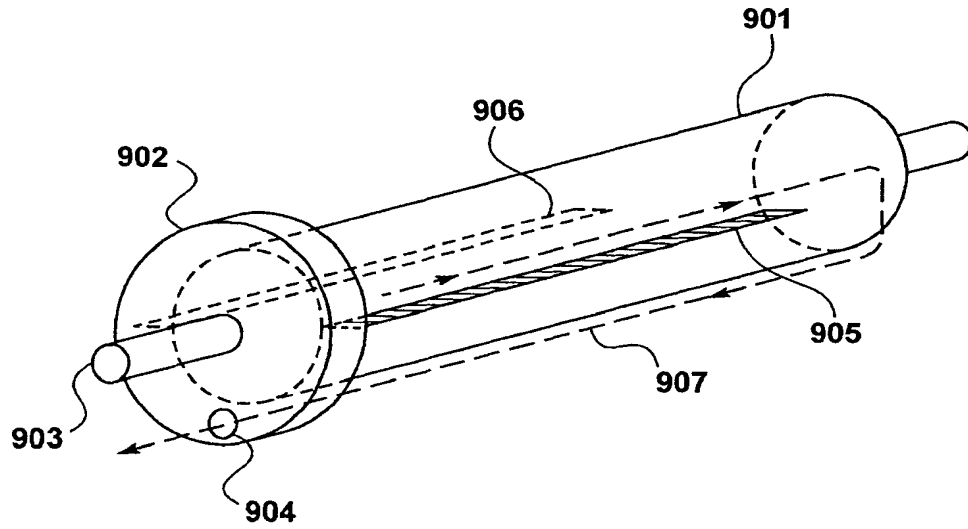


FIG. 9a

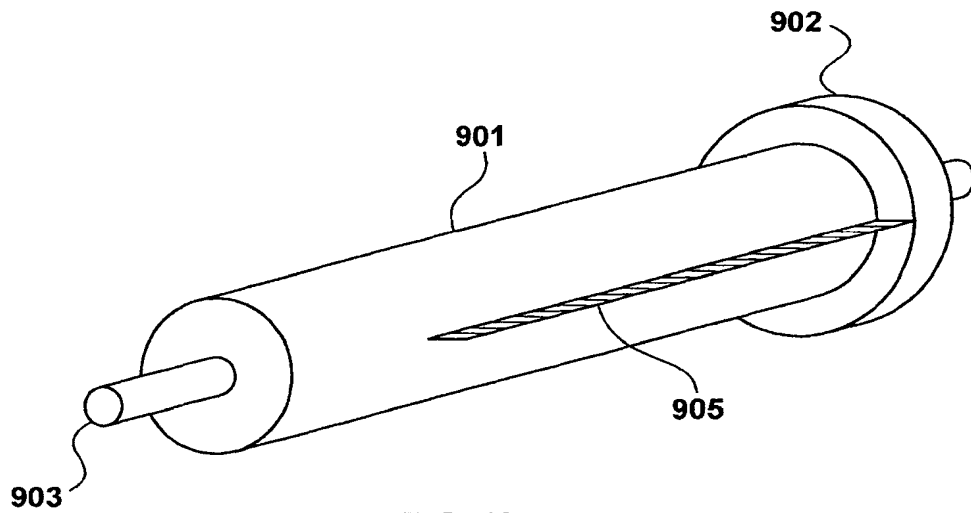


FIG. 9b

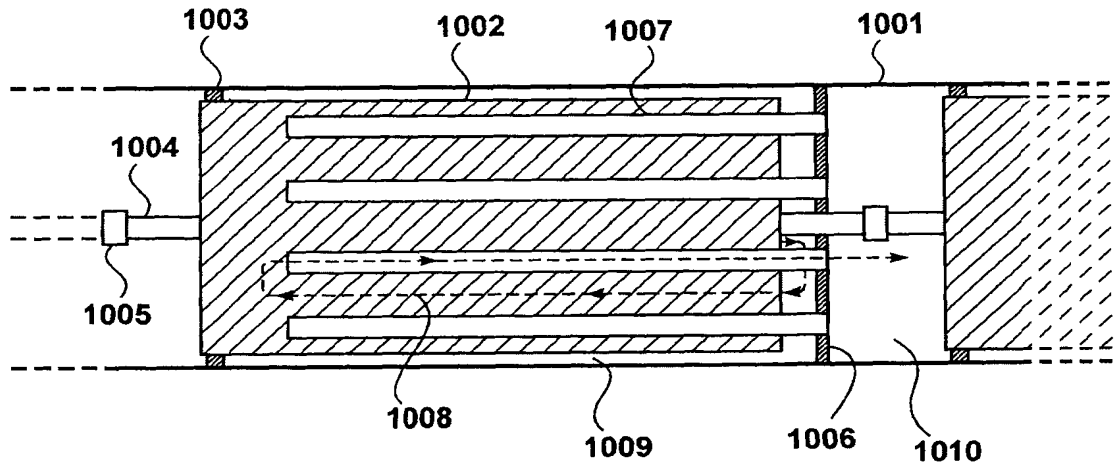


FIG. 10

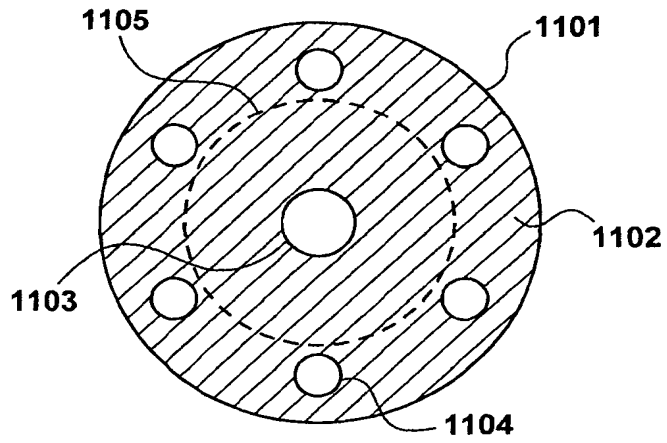


FIG. 11

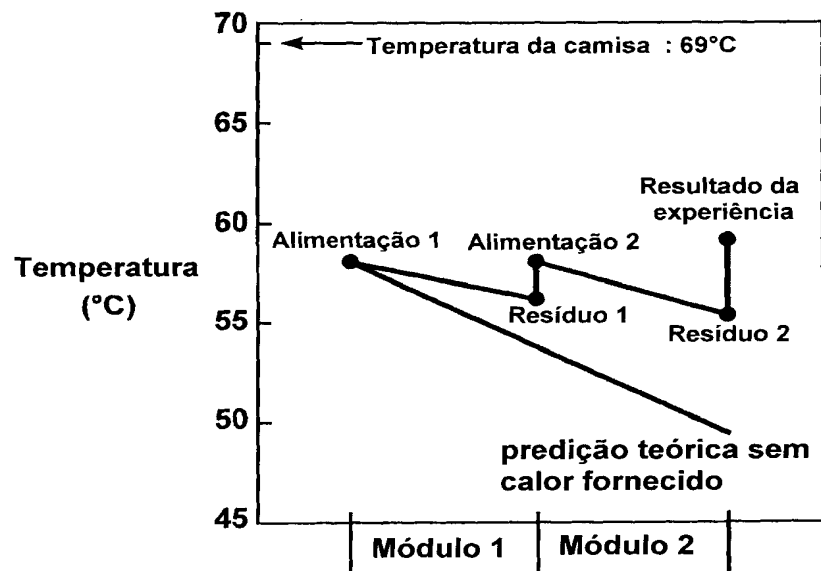


FIG. 12

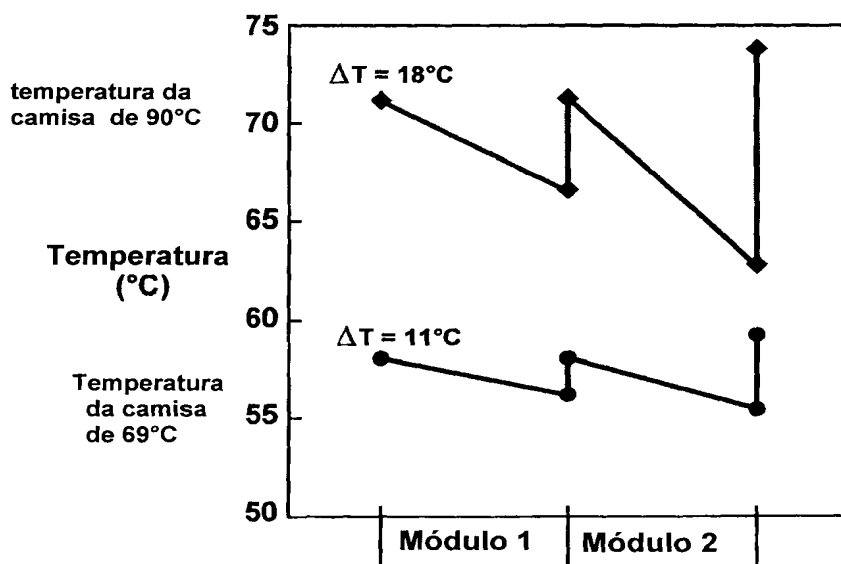


FIG. 13

RESUMO**“PROCESSO E UNIDADE DE PERVAPORAÇÃO”**

A invenção é um processo de pervaporação e equipamento de pervaporação, usando uma série de módulos de membrana (102 a 105, 204), e incluindo reaquecimento inter-módulo da solução de alimentação sob tratamento. O aquecimento inter-módulo é obtido dentro do tubo ou recipiente (101, 201) em que os módulos estão alojados, desse modo evitando a necessidade de repetidamente extrair a solução de alimentação do conjunto de módulos de membrana.