



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

(21) **PI0806630-2 A2**

(22) Data de Depósito: 14/03/2008  
(43) Data da Publicação: 13/09/2011  
(RPI 2123)



(51) *Int.Cl.*:  
B01D 61/36  
B01D 61/58  
B01D 63/00

(54) **Título:** APARELHO, SISTEMA E MÉTODO DE DESIDRATAÇÃO

(30) **Prioridade Unionista:** 15/03/2007 JP 2007-066285,  
27/11/2007 JP 2007-305646

(73) **Titular(es):** Mitsubishi Heavy Industries, Ltd

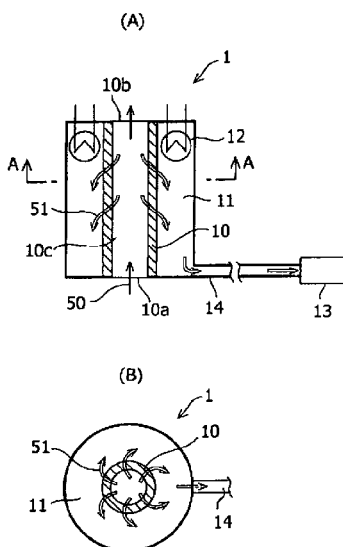
(72) **Inventor(es):** Atsuhiro Yukumoto, Haruaki Hirayama,  
Hiroyuki Osora, Yoshio Seiki

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

(86) **Pedido Internacional:** PCT JP2008054782 de 14/03/2008

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/111671de  
18/09/2008

(57) **Resumo:** APARELHO, SISTEMA E METODO DE DESIDRATAÇÃO. Um aparelho de desidratação, um sistema de desidratação e um método de desidratação têm melhorado desempenho de membrana. O aparelho de desidratação (1) inclui, em um corpo de aparelho de desidratação, um módulo de membrana de separação de água (10), em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que um líquido passe através, é provida com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e um envoltório (11), definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação. Um aquecedor (12) é provido no envoltório próximo da saída de líquido e um orifício de conexão (14), para conexão com um dispositivo de redução de pressão (13), é provido no envoltório próximo da entrada de líquido. Quando o líquido eleva-se na membrana de separação de água, água do líquido permeia a membrana de separação de água e move-se para dentro do envoltório, por meio do que o líquido é desidratado.





## “APARELHO, SISTEMA E MÉTODO DE DESIDRATAÇÃO”

### CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a um aparelho de desidratação, um sistema de desidratação e a um método de desidratação, capazes de eficientemente desidratar uma mistura de água e etanol ou propanol, que fica em uma composição azeotrópica com a água, uma mistura de água e ácido e similares.

### FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Como uma fonte de combustível para substituir combustíveis fósseis, o etanol tem atraído a atenção e seu tamanho de mercado é predito ser de 55 milhões de quilolitros no ano de 2010. Entretanto, para utilizar-se o etanol como um combustível, um produto bruto, obtido de uma matéria prima biológica, tal como milho, tem que ser destilado e purificado e este deve ser desidratado a pelo menos 99,5 % em peso.

Convencionalmente, na desidratação, um solução aquosa de etanol diluído foi destilada em uma coluna de destilação, a fim de ser concentrada a um ponto próximo do ponto azeotrópico do etanol aquoso, e então a solução foi desidratada.

Como um método para desidratar um azeótropo, um método é disponível em que um arrastador é adicionado ao azeótropo e a desidratação é realizada por destilação azeotrópica. Entretanto, o método requer um processo em que um azeótropo de três componentes é destilado e, além disso, o arrastador deve ser recuperado. Portanto, o método tem algumas desvantagens, tais como grande quantidade de energia térmica sendo necessária.

Outro método é também disponível, em que uma pluralidade de tanques de peneira molecular são dispostos em paralelos e a desidratação é realizada enquanto estes tanques são transferidos em um método de batelada. O método também tem uma desvantagem pelo fato de que a regeneração dos

tanques de peneira molecular consome substancial quantidade de energia.

Além disso, um método é conhecido em que água é removida de uma mistura que é mútua e completamente solúvel por um processo de separação de membrana, empregando-se o método de pervaporação, utilizando-se um separador de membrana (Documento de Patente 1: Publicação de Pedido de Patente Não-Examinado Japonês No. 7-124444). O processo de separação de membrana empregando o método de pervaporação tem efeitos vantajosos de elevado desempenho de separação e economia de energia, na separação de uma mistura de líquidos que é completamente mutuamente solúvel.

Documento de Patente 1: Publicação de Pedido de Patente Não-examinado Japonês No. 7-124444

### DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

#### Problemas a serem Resolvidos pela Invenção

O processo de separação de membrana empregando o método de pervaporação é um método promissor de purificar etanol e similares. O aperfeiçoamento de desempenho de separação tem sido exigido para fins de uso prático. Em particular, ele tem sido requerido para obter-se um anidrido de etanol de elevada pureza, com mais elevada eficiência.

#### Meios para Resolver os Problemas

Os presentes inventores verificaram que, no processo de separação de membrana empregando o método de pervaporação utilizando-se um reator de membrana de separação de água tipo tubular ou tipo monólito, a temperatura de um líquido a ser tratado quando o líquido escoar da entrada do reator de membrana de separação de água para sua saída. A Figura 7 mostra a relação entre a distância da entrada de um reator de membrana de separação de água e a temperatura. A diminuição da temperatura do líquido resulta em uma diminuição do fluxo de permeação ( $\text{kg/m}^2\text{h}$ ), que representa o desempenho da membrana de uma membrana de separação de água. Isto é, os

presentes inventores verificaram que significativa degradação de desempenho da membrana de separação de água é vista próximo da saída, que é a última parte do reator de membrana de separação de água, completando desse modo a presente invenção.

5                    Para resolver os problemas acima, a presente invenção fornece um aparelho de desidratação compreendendo, em um corpo de aparelho de desidratação, um módulo de membrana de separação de água em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que um  
10 líquido passe através, é provida com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e um envoltório definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo do aparelho de desidratação, em que um aquecedor é provido no envoltório próximo da saída de líquido e um orifício de conexão para conexão  
15 com um dispositivo de redução de pressão é provido no envoltório próximo da entrada de líquido; e quando o líquido eleva-se na membrana de separação de água, água do líquido permeia a membrana de separação de água e move-se para dentro do envoltório, pelo que o líquido é desidratado.

                    Em outra forma de realização, o aparelho de desidratação de  
20 acordo com a presente invenção pode ter um outro aspecto em que uma entrada de gás inerte é ainda provida no envoltório próximo da saída de líquido.

                    A presente invenção pode ainda prover um aparelho de desidratação compreendendo, em um corpo de aparelho de desidratação, um  
25 módulo de membrana de separação de água em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direção ascendente e descendente, para fazer com que um líquido passe através, é provida com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e um envoltório definido pela superfície externa do

módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação, em que uma entrada de gás inerte é provida no envoltório próximo da saída de líquido e uma saída de gás inerte é provida no envoltório próximo da entrada de líquido.

5                   A presente invenção pode ainda prover um aparelho de desidratação compreendendo, em um corpo de aparelho de desidratação, um módulo de membrana de separação de água, em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se na direção ascendente e descendente, para fazer com que um líquido passe  
10   através, é provida com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e um envoltório definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação, em que pelo menos um aquecedor é provido na membrana de separação de água e um orifício de conexão com um dispositivo  
15   de redução de pressão é provido no envoltório próximo da entrada de líquido; e quando o líquido eleva-se na membrana de separação de água, água do líquido permeia a membrana de separação de água e move-se para dentro do envoltório, pelo qual o líquido é desidratado.

                  A presente invenção pode ainda prover um aparelho de  
20   desidratação compreendendo, em um corpo de aparelho de desidratação, um módulo de membrana de separação de água, em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que um líquido passe  
através, é provida com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de  
25   líquido em seu topo; e um envoltório definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água do corpo de aparelho de desidratação, em que pelo menos um aquecedor é provido na membrana de separação de água, uma entrada de gás inerte é provida no envoltório próximo da saída de líquido e uma saída de gás inerte é provida no envoltório próximo

da entrada de líquido.

Em outra forma de realização, o aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção pode ter um outro aspecto em que um aquecedor é ainda provido no envoltório próximo da saída de líquido.

5               Em ainda outra forma de realização, o aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção pode ter um outro aspecto de ser um tipo de tratamento em série, em que pelo menos dois módulos de membrana de separação de água são dispostos em paralelo no corpo de aparelho de desidratação e a saída de líquido de um módulo de membrana de  
10 separação de água é conectado à entrada de líquido de outro módulo de membrana de separação de água.

Em ainda outro aspecto, o aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção pode ter um outro aspecto de que uma placa defletora é provida no envoltório.

15               Como outro aspecto, a presente invenção pode prover um sistema de desidratação compreendendo o aparelho de desidratação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8; um aquecedor de líquido provido a montante do aparelho de desidratação; e um meio de redução de pressão, conectado, quando necessário, ao envoltório próximo da saída de líquido do  
20 aparelho de desidratação.

Em outra modificação, o sistema de desidratação de acordo com a presente invenção pode ainda compreender um dispositivo de medição de concentração de líquido provido a jusante do aparelho de desidratação.

25               Em ainda outro modo, o sistema de desidratação de acordo com a presente invenção pode ainda compreender um regulador de fluxo de líquido, que é provido a montante do aparelho de desidratação e é conectado com o dispositivo de medição de concentração de líquido.

Em ainda outro modo, o sistema de desidratação de acordo com a presente invenção pode ter ainda aspectos de que o aparelho de

desidratação compreende pelo menos dois módulos de membrana de separação de água conectados em paralelo; pelo menos dois aparelhos de desidratação são conectados em série; e um misturador para misturar um líquido recuperado pelo aparelho de desidratação é provido em um tubo conectando os dois aparelhos de desidratação conectados em série.

Como ainda outro aspecto, a presente invenção pode prover um método de desidratação em que um líquido é feito fluir de uma entrada de base de uma membrana de separação de água, que tem pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que o fluxo passe através em direção a uma saída de topo; e a pressão do lado externo da membrana de separação de água é reduzida para fazer com que a água do líquido permeie a membrana de separação de água, em que no lado externo da membrana de separação de água uma parte próxima da saída de topo da membrana de separação de água é aquecida e uma parte próximo de sua entrada de base é despressurizada, pelo que convecção de calor da parte superior para a parte inferior é gerada no lado externo da membrana de separação de água.

Em outro modo, o método de desidratação de acordo com a presente invenção pode ter um outro aspecto de que, no lado externo da membrana de separação de água, um gás inerte aquecido é feito fluir da parte superior para a parte inferior.

A presente invenção pode fornecer um método de desidratação em que um líquido é feito fluir de uma entrada de base de uma membrana de separação de água, que tem pelo menos um trajeto de fluxo, estendendo-se na direção ascendente e descendente, para fazer com que o líquido passe através, em direção à saída de topo; e a pressão do lado externo da membrana de separação de água é reduzida para fazer com que água do líquido permeie a membrana de separação de água, em que no lado externo da membrana de separação de água um gás inerte aquecido é feito escoar da parte superior para

a parte inferior, para gerar fluxo de convecção da parte superior para a parte inferior no lado externo da membrana de separação de água.

5 A presente invenção pode prover um método de desidratação em que um líquido é feito fluir de uma entrada de base de uma membrana de separação de água, que tem pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que líquido passe através, em direção a uma saída de topo; e a pressão do lado externo da membrana de separação de água é reduzida para fazer com que água do líquido permeie a membrana de separação de água, em que no lado interno da membrana de separação de água a membrana de separação de água é aquecida; e uma parte 10 próximo da entrada de base da membrana de separação de água é despressurizada, pelo que convecção de calor da parte superior para a parte inferior é gerada no lado externo da membrana de separação de água.

15 Em outra modificação, o método de desidratação de acordo com a presente invenção pode ainda compreender as etapas de medir a concentração de anidrido ou água no líquido; e regular a quantidade de líquido alimentado à membrana de separação de água, dependendo da concentração.

20 Em ainda outra forma de realização, o método de desidratação de acordo com a presente invenção pode ainda compreender as etapas de desidratar o líquido utilizando-se pelo menos duas membranas de separação de água dispostas em paralelo; misturar o líquido recuperado de cada uma das membranas de separação de água; e ainda desidratar o líquido misturado utilizando-se ainda membrana de separação de água.

## 25 Efeitos vantajosos da Invenção

De acordo com a presente invenção, são providos um aparelho de desidratação, um sistema de desidratação e um método de desidratação em que, evitando-se a diminuição da temperatura do líquido na última parte do módulo de membrana de separação de água, o desempenho da separação de



membrana na última parte do módulo de membrana de separação de água é aumentado e elevado desempenho de desidratação é conseguido como um todo.

### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

5                   A Figura 1 é uma vista esquemática para explicar uma forma de realização de um aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção;

10                   A Figura 2 é uma vista esquemática para explicar outra forma de realização de um aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção;

                  A Figura 3 é uma vista esquemática para explicar ainda outra forma de realização de um aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção;

15                   A Figura 4 é uma vista esquemática para explicar ainda outra forma de realização de um aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção;

                  A Figura 5 é uma vista esquemática para explicar uma forma de realização de um sistema de desidratação de acordo com a presente invenção;

20                   A Figura 6 é uma vista esquemática para explicar outra forma de realização de um sistema de desidratação de acordo com a presente invenção;

25                   A Figura 7 é um gráfico mostrando distribuição de temperatura de um líquido, da entrada de uma membrana de separação de água até sua saída;

                  A Figura 8 é uma vista esquemática para explicar uma forma de realização de um módulo de membrana de separação de água de acordo com a presente invenção;

                  A Figura 9 é uma vista esquemática para explicar outra forma

de realização de um módulo de membrana de separação de água de acordo com a presente invenção;

A Figura 10 é uma vista esquemática para explicar ainda outra forma de realização de um aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção;

A Figura 11 é uma vista esquemática para explicar ainda outra forma de realização de um módulo de membrana de separação de água de acordo com a presente invenção;

A Figura 12 é uma vista esquemática para explicar ainda outra forma de realização de um módulo de membrana de separação de água de acordo com a presente invenção; e

A Figura 13 é uma vista esquemática para explicar ainda outra forma de realização de um módulo de membrana de separação de água de acordo com a presente invenção.

#### Descrição dos Símbolos

1, 101, 201, 301, 40 ... aparelho de desidratação

2 ... dispositivo de medição de concentração

3 ... regulador de fluxo

4 ... válvula

5 ... misturador

10, 110, 210, 310, 410, 510 ... módulo de membrana de separação de água

10a, 110a, 210a, 310a, 410a, 510a ... entrada de líquido

10b, 110b, 210b, 310b, 410b, 510b ... saída de líquido

10c, 110c, 210c, 310c, 410c, 510c ... trajeto de fluxo

10d, 110d, 210d, 310d, 410d, 510d ... membrana de separação de água

11 ... envoltório

12 ... aquecedor

13 ... dispositivo de redução de pressão

14 ... duto

- 15 ... entrada de gás inerte
- 16 ... fornecedor de gás inerte
- 17 ... tubo
- 18 ... placa defletora
- 5 19 ... trocador de calor
- 20 ... aquecedor
- 21 ... corpo de aquecedor
- 50 ... líquido
- 51 ... vapor d'água
- 10 52 ... gás inerte

### MELHOR MODO DE REALIZAR A INVENÇÃO

Um aparelho de desidratação, um sistema de desidratação e um método de desidratação de acordo com a presente invenção serão agora descritos em mais detalhe com referência a suas formas de realização.

15 A Figura 1 mostra uma forma de realização do aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção.

O aparelho de desidratação 1, mostrado na Figura 1, inclui um módulo de membrana de separação de água 10, um envoltório 11, um aquecedor 12 e um duto de vácuo 14, que são providos em um corpo de  
20 aparelho de desidratação como componentes principais. O corpo de aparelho de desidratação é conectado com um dispositivo de redução de pressão 13.

A Figura 1A é uma vista esquemática do aparelho de desidratação 1 de acordo com a presente invenção e a Figura 1B é uma vista seccional tomada ao longo da linha A-A da Figura 1A. O módulo de  
25 membrana de separação de água 10 consiste de uma membrana de separação de água 10d e é provida com uma entrada de líquido 10a em sua extremidade inferior e uma saída de líquido 10b em sua parte superior. No módulo de membrana de separação de água 10, uma ou mais partes ocas, estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para permitir que um líquido passe

através, são formadas como trajetos de fluxo 10c para o líquido. O envoltório 11 é localizado em torno da superfície lateral do módulo de membrana de separação de água 10. Em uma parte superior do envoltório 11, próximo da saída de líquido 10b, o aquecedor 12 é provido. No outro lado, em uma parte inferior do envoltório 11, próximo da entrada de líquido 10a, o duto de vácuo 14 é provido. O duto de vácuo 14 é conectado ao dispositivo de redução de pressão 13.

O módulo de membrana de separação de água 10 separa o líquido em anidrido e água. Como um tal módulo de membrana de separação de água, vários tipos são conhecidos e são comercialmente disponíveis. Como módulo de membrana de separação de água da presente forma de realização, um módulo de membrana de separação de água tipo monolito ou tipo tubular pode ser usado como um exemplo.

Um módulo de membrana de separação de água tipo monolito 110, mostrado nas Figuras 8A 4 8B, é explicado como um exemplo. A Figura 8b é uma vista seccional tomada ao longo da linha C-C da Figura 8A. No módulo de membrana de separação de água tipo monolito 110, uma pluralidade de trajetos de fluxo de líquido 110c, que são uma ou mais partes ocas estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para permitir que um líquido passe através, são providas em uma membrana de separação de água colunar 110d. Usualmente, na membrana de separação de água deste tipo, o trajeto de fluxo de líquido 110c da membrana de separação de água é chamado um lado primário ou um lado de alimentação da membrana e o lado externo da membrana de separação de água 110d é chamado um lado secundário ou um lado de permeado da membrana.

No processo de separação de membrana utilizando-se o método de pervaporação utilizando-se um módulo de membrana de separação de água, o módulo de membrana de separação de água 110 é preferivelmente colocado de modo que a direção do trajeto de fluxo fique paralelo com a

direção vertical. O líquido é alimentado ao módulo a partir de uma entrada 110a no lado inferior na direção vertical, enquanto a pressão sobre o lado de permeado do módulo de membrana de separação de água 110 é reduzida. O líquido escoar na direção inversa à gravidade e é descarregado de uma saída 110b no lado superior na direção vertical. Por este procedimento, a água contida no líquido é convertida em vapor d'água e o vapor d'água é extraído para fora para o lado do permeado através da superfície lateral da membrana de separação de água colunar 110d. Como resultado, o líquido recuperado da saída 110b do módulo de membrana de separação de água é desidratado.

10                   As Figuras do módulo de membrana de separação de água tipo monolito 110, mostrado nas Figuras 8A e B, são vistas esquemáticas. Como um exemplo, um módulo de membrana de separação de água, provido com trinta furos, cada um tendo um diâmetro de 3 mm e uma membrana de separação de água colunar, tendo um diâmetro de 30 mm, pode ser usado.

15   Como outro exemplo, um módulo de membrana de separação de água, provido com duzentos furos, cada um tendo um diâmetro de 2 mm, em uma membrana de separação de água colunar, tendo um diâmetro de 150 a 200 mm, pode ser usado. O comprimento do módulo de membrana de separação de água pode ser determinado apropriadamente por uma pessoa hábil na

20   técnica, dependendo do desejado desempenho da membrana. Como um exemplo, um módulo de membrana de separação de água, tendo um comprimento variando de 150 mm a 1 m, pode ser usado.

                  Como outro exemplo, um módulo de membrana de separação de água tipo tubular 210, mostrado nas Figuras 9A e 9B, é explicado. A

25   Figura 9B é uma vista seccional tomada ao longo da linha D-D da Figura 9A. O módulo de membrana de separação de água tipo tubular 210 é uma membrana de separação de água tubular 210d, provida com somente um trajeto de fluxo de líquido 210c nela. O módulo de membrana de separação de água tipo tubular 210 tem o mesmo modo de instalação e efeitos vantajosos

operacionais que aqueles do módulo de membrana de separação de água tipo monolito. Como um exemplo, um módulo de membrana de separação de água tipo tubular, tendo um diâmetro externo de 10 mm e um diâmetro interno de 7 mm, pode ser usado. Como outro exemplo, um módulo de membrana de separação de água tipo tubular, tendo um diâmetro externo de 30 mm e um diâmetro interno de 22 mm, pode ser usado. Com referência ao comprimento, como um exemplo, um módulo de membrana de separação de água tipo tubular, tendo um comprimento variando de 150 mm a 1 m, pode ser usado.

Como a membrana de separação de água constituindo o módulo de membrana de separação de água, uma membrana porosa inorgânica, em que um diâmetro de poro de nano-ordem ou menor é controlado precisamente, pode ser usada. As membrana porosa tendo finos poros obtém um efeito de peneira molecular de permitir que gases de molécula pequena passem através e excluindo gases de molécula grande, e exibe um comportamento de difusão ativada, em que seu coeficiente de permeabilidade aumenta com o aumento da temperatura. Um exemplo de uma membrana porosa tendo finos poros inclui um membrana de carbono, membrana de sílica e membrana de zeólito. Na presente forma de realização, pode ser adequada, como uma membrana de separação de água, uma membrana de separação de água inorgânica, baseada em sílica ou zeólito, tendo poros finos de 10-angstrom ou menores.

A membrana de separação de água inorgânica descrita na Patente Japonesa No. 2808479, pode também ser aplicada à presente forma de realização. A membrana de separação de água inorgânica descrita na Patente Japonesa No. 2808479, é uma membrana de separação compósita resistente a ácido, obtida suportando-se gel de sílica, que é obtido por hidrólise de alcoxissilano, tendo um grupo etóxi ou grupo metóxi, nos poros finos de um corpo poroso inorgânico.

O formato, tamanho e material do módulo de membrana de

separação de água podem ser selecionados apropriadamente por uma pessoa hábil na técnica, dependendo da finalidade pretendida de uso.

O envoltório 11 é localizado no lado do permeado da membrana de separação de água na periferia do módulo de membrana de separação de água. O envoltório 11 serve como um trajeto de fluxo para o vapor d'água 51, liberado através da superfície lateral da membrana de separação de água 10. Na presente forma de realização, o envoltório 11 é um espaço definido pela superfície lateral do módulo de membrana de separação de água 10 e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação. O envoltório 11 é configurado de modo que o líquido, antes de ser alimentado ao módulo de membrana de separação de água 10 ou um líquido 50, recuperado do módulo de membrana de separação de água 10, não escoe para dentro do envoltório 11.

Em um local próximo da saída de líquido 10b do módulo de membrana de separação de água 10 em uma parte superior do envoltório 11, o aquecedor 12 é provido. A frase “uma parte próximo da saída de líquido 10b” significa um local que é próximo à saída de líquido 10b do módulo de membrana de separação de água 10, em um grau de modo que o líquido passando através da saída de líquido 10b do módulo de membrana de separação de água 10, possa ser aquecido a uma temperatura desejada. O aquecedor 12 é preferivelmente provido na periferia próximo da saída de líquido 10b e pode ser provido em separado. O aquecedor 12 aquece o líquido próximo da saída de líquido 10b do módulo de membrana de separação de água 10 e o vapor d'água 51 liberado através do módulo de membrana de separação de água 10, para dentro do envoltório 11. Como o aquecedor 12, um aquecedor convencional, tal como um aquecedor elétrico ou um aquecedor de vapor, pode ser usado. O aquecedor 12 pode ser de um tipo capaz de aquecer o líquido 50 fluindo no módulo de membrana de separação de água 10, a uma temperatura que não alcance o ponto azeotrópico mas fique

próximo do ponto azeotrópico, ou seja capaz de aquecer uma mistura de ácido acético etc. que não tem o ponto azeotrópico e água a uma temperatura de 100 a 150 °C.

Em um local próximo da entrada de líquido 10a do módulo de membrana de separação de água 10 em uma parte mais baixa do envoltório 11, o duto de vácuo 14 é provido. O duto de vácuo 14 serve como um orifício de conexão com o dispositivo de redução de pressão 13. Do duto de vácuo 14, o vapor d'água 51, liberado do módulo para dentro do envoltório 11, é recuperado. O duto de vácuo 14 pode ser provido horizontalmente ou pode ser provido descendentemente na direção vertical. Embora a direção do duto de vácuo 14 não seja sujeita a qualquer restrição, o duto de vácuo 14 é preferivelmente provido em um local distante do aquecedor 12 no fundo do envoltório 11. Isto ocorre porque o calor é circulado por fluxo de convecção para o fundo do envoltório 11. Além disso, o duto de vácuo 14 pode não ser provido em diversos números e somente um duto de vácuo 14 seja preferivelmente provido. Isto ocorre porque o fluxo de convecção do vapor d'água 51 e calor em uma direção a partir do aquecedor 12 até o duto de vácuo 14 é formado. Entretanto, uma pluralidade de dutos de vácuo 14 pode ser provida se as posições e orientações dos dutos de vácuo 14 substancialmente permitirem o fluxo de convecção do vapor d'água 51 e calor em uma direção a ser formada.

O dispositivo de redução de pressão 13 é um meio para reduzir a pressão do envoltório 11 para aspirar o vapor d'água liberado pelo módulo de membrana de separação de água 10. O dispositivo de redução de pressão 13 pode ser um dispositivo de redução de pressão capaz de reduzir a pressão a cerca de 10 a 100 Torr (13333,22 a 13332,2 Pa). Como dispositivo de redução de pressão 13, uma bomba de redução de pressão comum ou similar pode ser usada.

Em seguida, um modo de um método para desidratar um



líquido, utilizando o aparelho de desidratação 1 da presente invenção, é explicado. O líquido a ser desidratado pelo aparelho de desidratação 1 da presente forma de realização é geralmente uma mistura de um líquido solúvel mutuamente com água e água. Especificamente, tal líquido a ser desidratado inclui uma mistura de etanol e água, uma mistura de propanol e água e uma mistura de um ácido, tal como ácido acético e água. De acordo com o método da presente forma de realização, estas misturas podem ser desidratada, por exemplo, a 99,7% de anidrido adequado para a aplicação de combustível, ou a 99,99% ou pureza superior para o uso para limpar substratos semicondutores.

O líquido a ser desidratado pode conter álcool ou ácido com uma concentração de 80 a 95 % em peso. Tais concentrações são obtidas tratando-se uma mistura de matéria prima utilizando-se uma coluna de destilação ou uma membrana de transmissão seletiva de álcool. O líquido a ser desidratado pode ser um líquido pressurizado. A temperatura do líquido pressurizado pode ser elevada sem gaseificação do líquido suprido ao aparelho de desidratação 1 da presente forma de realização. Neste caso, um líquido pressurizado a, por exemplo, 1,5 a 10 atm, preferivelmente 2 a 3 atm, pode ser usado. A seguir, o método de desidratação é explicado tomando-se uma mistura de etanol, útil como um combustível, e água como um exemplo de líquido. A concentração de etanol no líquido suprido ao aparelho de desidratação da presente forma de realização é preferivelmente de 95 % em peso.

Como mostrado na Figura 1, o líquido 50, que é uma mistura de 95 % em peso de etanol e 5 % em peso de água, é aquecida por um trocador de calor e então é alimentada da entrada de líquido 10a do módulo de membrana de separação de água. A vazão do líquido 50, suprido ao módulo de membrana de separação de água 10, é preferivelmente de 0,5 a 1 m/seg. Entretanto, a vazão de alimentação pode ser determinada apropriadamente por uma pessoa hábil na técnica, dependendo do fluxo de permeação pretendido. A temperatura do líquido 50 na ocasião de ser alimentado é preferivelmente

de 70 °C a uma temperatura inferior a 80 °C. A temperatura preferível é próximo do ponto azeotrópico do etanol e água, porém é mais baixa do que o ponto azeotrópico (cerca de 80 °C). A razão para isto é que, quando a temperatura do líquido 50 aumenta, o fluxo de permeação aumenta e, portanto, o desempenho da membrana aumenta, porém em uma temperatura mais elevada do que o ponto azeotrópico parte do líquido 50 vaporiza e o calor latente da vaporização é liberado do líquido.

O líquido 50 é alimentado ao módulo de membrana de separação de água 10, enquanto reduzindo a pressão do envoltório 11. A pressão dentro do envoltório 11 é preferivelmente reduzida a cerca de 10 a 100 Torr (1333,22 a 13332,2 Pa). Isto ocorre porque a permeação é acelerada por uma pressão diferencial entre o lado de alimentação e o lado do permeado da membrana de separação de água. A pressão é reduzida pelo duto de vácuo 14, provido no fundo do envoltório 11. Na parte superior do envoltório 11, uma parte do módulo de membrana de separação de água 10, próximo da saída de líquido 10b, é aquecida pelo aquecedor 12. É preferível que o líquido 50 seja aquecido a uma temperatura que seja próxima do ponto azeotrópico, porém seja mais baixa do que o ponto azeotrópico. Especificamente, o líquido 50 é preferivelmente aquecido de modo que sua temperatura torne-se 70 °C a uma temperatura mais baixa do que 80 °C.

O líquido 50 escoar no trajeto de fluxo 10c para cima a partir da base até o topo do módulo de membrana de separação de água 10. Durante este tempo, a água contida no líquido 50 é retirada para o envoltório 11 como o vapor d'água 51, via a membrana de separação de água 10d. Pela vaporização de água, o calor de vaporização é liberado do líquido 51 todas as vezes. Entretanto, uma vez que uma parte do módulo de membrana de separação de água 10 perto da saída de líquido 10b é aquecida, a temperatura do líquido 51 é mantida sem diminuir. Portanto, para o líquido 50, recuperado da saída de líquido 10b, a temperatura é quase a mesma que aquela do líquido

alimentado ao módulo. A concentração de água contida do líquido recuperado 50 é diminuída.

O vapor d'água 51, liberado para o envoltório 11, é circulado por fluxo de convecção f do topo para a base do envoltório 11. Isto ocorre porque a parte superior do envoltório 11 é aquecida e, ao mesmo tempo, a pressão é reduzida da parte inferior do envoltório 11. Como mostrado na Figura 1B, o vapor d'água 51 aquece o líquido 50 no trajeto de fluxo 10c, via a membrana de separação de água 10d, enquanto sendo circulado por fluxo de convecção em direção ao duto de vácuo 14. O vapor d'água 51 é recuperado do duto de vácuo 14, provido na parte inferior do envoltório 11. O vapor d'água recuperado 51 é condensado por um resfriador, tal como um trocador de calor a jusante do aparelho de desidratação. A Figura 1 exemplifica uma forma de realização em que dois aquecedores 12 são providos. Entretanto, se um aquecedor foi provido em uma posição mais afastada do duto 14, isto é em uma posição na esquerda superior do envoltório 11 da Figura 1A, calor é circulado por fluxo de convecção para o duto 14 na direita inferior do envoltório 11 da Figura 1A.

Na presente forma de realização, uma forma de realização do aparelho de desidratação 1 provido com um módulo de membrana de separação de água 10 é mostrada para facilidade de explicação. Entretanto, o aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção pode ser provido com uma pluralidade de módulos de membrana de separação de água, que são conectados em paralelo, no corpo de aparelho de desidratação. Neste caso, a pluralidade de módulos de membrana de separação de água é disposta em paralelo no corpo de aparelho de desidratação. Isto é, diversas entradas de líquido 10a dos módulos de membrana de separação de água são posicionadas em quase a mesma altura no corpo do aparelho e, similarmente, diversas saídas de líquido 10b dos módulos de membrana de separação de água são posicionadas quase na mesma altura. O aquecedor pode ser provido em uma

tal posição e em uma tal maneira que cada um dos módulos de membrana de separação de água próximos da saída de líquido pode ser aquecido à mesma temperatura. Na presente forma de realização também, o envoltório 11 é um espaço contínuo, definido pela parede interna do corpo de aparelho de desidratação e as superfícies externas da pluralidade de módulos de membrana de separação de água 10. No envoltório 11, calor e vapor d'água podem ser circulados por fluxo de convecção do topo até a base do espaço. Provedo-se a pluralidade dos módulos de membrana de separação de água, que são conectados em paralelo, no corpo de aparelho de desidratação, a quantidade de líquido tratado de uma vez pelo aparelho de desidratação pode ser aumentada.

De acordo com o método da presente forma de realização mostrado na Figura 1, aquecendo-se o líquido fluindo próximo da saída de líquido 10b do módulo de membrana de separação de água 10, o desempenho da membrana pode ser aumentado.

Sabe-se que o desempenho da membrana pode ser avaliado pelo fluxo de permeação e o fluxo de permeação é proporcional à temperatura. Para a membrana de separação de água favoravelmente usada na presente forma de realização, quando a temperatura de um líquido é aumentada de cerca de 40 °C para cerca de 80 °C, o fluxo de permeação aumenta em um fator de cerca de três. Mantendo-se o líquido em uma temperatura de 70 a 80 °C em qualquer parte do módulo de membrana de separação de água 10, um elevado fluxo de permeação pode ser conseguido e, desse modo, o desempenho da membrana pode ser aumentado. Especificamente, quando comparado com a técnica convencional, o fluxo de permeação pode ser aumentado em cerca de 50%. A desidratação pode ser realizada a um grau de modo que a concentração de etanol no líquido recuperado torne-se 99,7 % em peso, isto é, uma concentração adequada para um combustível.

A Fig. 2 mostra outra forma de realização do aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção.

Na presente forma de realização, na parte superior do envoltório 11, entradas de gás inerte 15 são providas. Na parte inferior do envoltório 11, o duto de exaustão 14, que serve como uma saída de gás inerte, é provido e o dispositivo de redução de pressão não é conectado ao duto de exaustão 14. Outros componentes do aparelho de desidratação são os mesmos que o componente da forma de realização explicada com referência à Figura 1. Os componentes a que os mesmos símbolos que aqueles da Figura 1 são aplicados têm a mesma configuração e operação que aquelas do componente da forma de realização explicada com referência à Figura 1.

No método para desidratar uma mistura de etanol e água usando-se um aparelho de desidratação 101 da presente forma de realização, um gás inerte 52 é suprido pelas entradas de gás inerte 15. Como gás inerte 52, nitrogênio ou argônio pode ser usado, como um exemplo. A vazão do gás inerte suprido 52 é preferivelmente, por exemplo, de 5 a 15 m/s. Entretanto, a vazão pode ser determinada apropriadamente por uma pessoa hábil na técnica, dependendo do volume pretendido do envoltório 11. O gás inerte 52 pode ser aquecido por um aquecedor 19, provido no lado externo do aparelho de desidratação 101. A temperatura do gás inerte 52 pode ser uma temperatura capaz de aumentar a temperatura do líquido próximo da saída de líquido 10b a 70 °C, a uma temperatura inferior a 80 °C.

O gás inerte 52, suprido ao envoltório 11 em uma elevada temperatura, aquece o líquido 50 que escoar em uma parte próxima da saída de líquido 10b, do lado externo da membrana de separação de água 10d. O gás inerte 52 escoar do topo da base do envoltório 11 e é recuperado do duto de exaustão 14. Nesta ocasião, é gerado o fluxo de convecção do gás inerte 52 e calor, dirigido do topo para a base do envoltório 11. O vapor d'água 51, liberado pela membrana de separação de água 10d, é recuperado pelo duto de

exaustão 14, junto com o gás inerte 52, por este fluxo de convecção.

Como uma forma de realização modificada do aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção mostrado na Figura 2, os aquecedores para o gás inerte 52 podem também ser providos na parte superior do envoltório 11 do corpo de aparelho de desidratação, não no lado externo do corpo de aparelho de desidratação.

Como outra forma de realização modificada do aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção, mostrado na Figura 2, o aparelho de desidratação 101 pode ser configurado de modo que um aquecedor seja ainda provido na parte superior do envoltório 11 do corpo de aparelho de desidratação e um dispositivo de redução de pressão seja conectado a um duto. No método de desidratação utilizando o aparelho de desidratação, o gás inerte 52 é suprido ao envoltório 11 pelas entradas de gás inerte 15. Nesta ocasião, a vazão do gás inerte 52 é preferivelmente, por exemplo, de 0,1 a 5 m/s, mais preferivelmente 0,1 a 1 m/s. Simultaneamente, a pressão do envoltório 11 é reduzida pelo dispositivo de redução de pressão. A pressão do envoltório 11 é preferivelmente reduzida a cerca de 10 a 100 Torr (1333,22 a 13332,2 Pa).

De acordo com o aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção, mostrado na Figura 2 e suas modificações, suprindo-se o gás inerte 52 ao envoltório 11, são gerados o fluxo de convecção do gás inerte 52, do vapor d'água 51 e do calor dirigido do topo para a base do envoltório 11, e o líquido 50 pode ser aquecido em uma parte próxima da saída de líquido 10b do módulo de membrana de separação de água 10. Portanto, o mesmo efeito que aquele da forma de realização mostrada na Figura 1 pode ser conseguido.

A Figura 3 mostra ainda outra forma de realização do aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção.

Na presente forma de realização, um aparelho de desidratação

201 é um tipo em tandem em que a pluralidade de módulos de membrana de separação de água 10 é disposta em paralelo em um corpo de aparelho de desidratação e a saída de líquido 10b de um módulo de membrana de separação de água 10 e a entrada de líquido 10a de outro módulo de membrana de separação de água 10 são conectados em série por um tubo 17. Dispondo-se a pluralidade de módulos de membrana de separação de água 10 em paralelo no corpo de aparelho de desidratação, todas as entradas de líquido 10a dos módulos de membrana de separação de água 10 são posicionadas quase na mesma altura na base do aparelho de desidratação 201 e suas saídas de líquido 10b são posicionadas quase na mesma altura no topo do aparelho de desidratação 201. Portanto, o duto 14 é posicionado no envoltório 11, próximo da entrada de líquido 10a de cada módulo de membrana de separação de água 10 e o aquecedor 12 é posicionado no envoltório 11, próximo da saída de líquido 10b de cada módulo de membrana de separação de água 10. O número de módulos de membrana de separação de água 10 conectados em série pode ser tornado, por exemplo, três a cinco. Entretanto, o número de módulos de membrana de separação de água 10 a serem conectados pode ser determinado apropriadamente por uma pessoa hábil na técnica, dependendo das especificações e desempenho pretendido dos módulos de membrana de separação de água 10 e da pureza desejada do líquido sendo tratado.

O tubo 17, localizado a montante de cada um dos módulos de membrana de separação de água 10, é preferivelmente provido com um trocador de calor 19. Uma vez a pluralidade de módulos de membrana de separação de água 10 seja disposta na relação posicional mostrada na Figura 3, somente um trocador de calor 19 é provido no lado externo do corpo de aparelho de desidratação, de modo que a pluralidade de tubos 17 pode ser aquecida junto.

No método para desidratar uma mistura de etanol e água utilizando-se o aparelho de desidratação da presente forma de realização, o

líquido 50 recuperado da saída de líquido 10b de um módulo de membrana de separação de água 10 é suprido à entrada de líquido 10a de outro módulo de membrana de separação de água 10 e então é suprido à entrada de líquido 10a de ainda outro módulo de membrana de separação de água 10. O líquido 50, recuperado de cada um dos módulos de membrana de separação de água 10, é preferivelmente evitado de esfriar ou ser aquecido pelo trocador de calor 19 ou similar e então é suprido ao próximo módulo de membrana de separação de água 10. O módulo de membrana de separação de água 10 é aquecido em uma parte próxima da saída de líquido 10b pelo aquecedor 12 no envoltório 11, como na forma de realização mostrada na Figura 1. Desse modo, a temperatura do líquido 50, fluindo nos módulos de membrana de separação de água 10 conectados em série, é mantida próxima do ponto azeotrópico do etanol, porém é mais baixa do que o ponto azeotrópico. Portanto, os mesmos efeitos vantajosos que aquele da forma de realização mostrada na Figura 1 podem ser obtidos nos módulos de membrana de separação de água 10. Uma vez que a pluralidade de módulos de membrana de separação de água 10 é conectada em série, é provido elevado desempenho de membrana como um todo, de modo que o líquido pode ser desidratado em etanol de elevada pureza.

As Figuras 4A e 4B mostram ainda outra forma de realização do aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção. A Figura 4B é uma vista seccional tomada ao longo da linha B-B da Figura 4A.

Na presente forma de realização, como mostrado na Figura 4A, placas defletoras 18 são ainda providas no envoltório 11 do aparelho de desidratação mostrado na Figura 1. Como placa defletora 18, pode ser usada uma placa defletora usada em um trocador de calor. O número de placas defletoras pode ser variado, dependendo da escala do aparelho de desidratação como uma questão de projeto.

No método de desidratação utilizando um aparelho de



desidratação 301 da presente forma de realização, como mostrado nas Figuras 4A e 4B, o vapor d'água 51 escoar em um trajeto de fluxo definido pelas placas defletoras 18. Proveniente das placas defletoras 28, o trajeto de fluxo do vapor d'água 51, escoando dentro do envoltório 11, pode ser encurtado e a vazão pode ser aumentada. Desse modo, a quantidade de transferência de calor do envoltório 11 pode ser aumentada. O vapor d'água 51 é recuperado do duto 14, enquanto aquecendo-se o líquido fluindo dentro do módulo de membrana de separação de água 10 oriundo do envoltório 11. Assim, a quantidade aumentada de transferência de calor eficientemente aquece o líquido 50, de modo que o desempenho da membrana pode ser aumentado.

As Figuras 10A e 10B mostra ainda outra forma de realização do aparelho de desidratação de acordo com a presente invenção. A Figura 10B é uma vista seccional tomada ao longo da linha E-E da Figura 10A.

Em um aparelho de desidratação 401 da presente forma de realização, como mostrado nas Figuras 10A e 10B, um ou mais aquecedores 20 são providos na direção paralela com o trajeto de fluxo de líquido 10c do módulo de membrana de separação de água 10. Cada um dos aquecedores 20 é conectado a um corpo de aquecedor 21 provido no lado externo do corpo de aparelho de desidratação. Um aquecedor não é provido na parte superior do envoltório 11. Outros componentes são os mesmos que os componentes da forma de realização explicada com referência à Figura 1 e os componentes a que os mesmos símbolos que aqueles da Figura 1 são aplicados têm a mesma configuração e operação que aqueles dos componentes da forma de realização explicada com referência à Figura 1. O aspecto da presente invenção é que os aquecedores 20 são integrados dentro do módulo de membrana de separação de água 10.

O aquecedor 20 tem um formato de vareta e o corpo de aquecedor 21 é um dispositivo para aquecer os aquecedores 20. Os aquecedores 20 e o corpo de aquecedor 21 constituem um dispositivo de

aquecimento. O corpo de aquecedor 21 é provido no lado externo do aparelho de desidratação 401 ou no envoltório 11 e é conectado com cada um dos aquecedores 20. Como aquecedor 20, um aquecedor convencional, tal como um aquecedor elétrico ou um trocador de calor de vapor, pode ser usado.

5 Como o material para o aquecedor 20, ferro, cobre ou aço inoxidável podem ser usados. Entretanto, o material para ele não é limitado aos materiais acima descritos. O material para o aquecedor 20 é preferivelmente um material que não afeta adversamente o material da membrana de separação de água. Com referência ao tamanho do aquecedor 20, seu diâmetro pode ser de 0,1 a 10  
10 mm e seu comprimento pode ser de 10 mm a 2 m. O número de aquecedores providos no módulo de membrana de separação de água 10 pode ser de um a 2000. Entretanto, seu número não é limitado aos números acima descritos.

A posição de integração do aquecedor 20 no módulo de membrana de separação de água 10 pode ser qualquer posição em que o  
15 líquido escoando no trajeto de fluxo 10c possa ser aquecido a uma temperatura desejada. Na Figura 10A, o aquecedor 20 não se estende até a extremidade inferior 10a do módulo de membrana de separação de água 10. Entretanto, o aquecedor 20 pode estender-se até a extremidade inferior 10a. O aquecedor 20 pode ser provido a fim de estender-se da extremidade superior  
20 10b do módulo de membrana de separação de água 10 até uma posição de metade do comprimento total do módulo de membrana de separação de água 10. O aquecedor 20 é preferivelmente provido a fim de estender-se da extremidade superior 10b do módulo de membrana de separação de água 10 até uma posição de um-terço ou um-quarto do comprimento total do módulo  
25 de membrana de separação de água 10. O material, o tamanho e o número de aquecedores 20 podem ser variados apropriadamente por uma pessoa hábil na técnica, dependendo do desempenho pretendido e da finalidade de uso do módulo de membrana de separação de água 10.

Um módulo de membrana de separação de água tipo monolito

310 da presente forma de realização, mostrado nas Figuras 11A e 11B, é explicado como um exemplo. A Figura 11A é uma vista em planta e não mostra o corpo de aquecedor 21 e um meio de conexão entre o aquecedor 20 e o corpo de aquecedor 21. A Figura 11B é uma vista seccional, tomada ao longo da linha F-F da Figura 11A. Os componentes a que os mesmos símbolos são aplicados têm as mesmas configuração e operação. No módulo de membrana de separação de água tipo monolito 310 da presente forma de realização, os aquecedores 20 são providos na direção paralela com os trajetos de fluxo de líquido 310c em uma membrana de separação de água 310d do módulo de membrana de separação de água 310, como mostrado na Figura 8. Desse modo, o líquido fluindo nos trajetos de fluxo de líquido 310c é aquecido e, portanto, elevado desempenho de membrana pode ser provido. Como um exemplo do módulo de membrana de separação de água tipo monolito da presente forma de realização, como o módulo de membrana de separação de água tipo monolito mostrado na Figura 8, o módulo de membrana de separação de água 310 tem um diâmetro de 30 mm e um comprimento de 150 mm e é provido com trinta furos tendo um diâmetro de 3 mm. Este módulo de membrana de separação de água 310 pode ser provido com três aquecedores 20, cada um tendo um diâmetro de 3,0 mm e um comprimento de 50 mm, que se estende para uma posição 50 mm abaixo de uma extremidade superior 310b do módulo de membrana de separação de água 310 e são aquecidos a 200 °C. Entretanto, a configuração do módulo de membrana de separação de água 310 não é limitada à configuração acima descrita.

O módulo de membrana de separação de água pode ser aquele obtido integrando-se os aquecedores 20 em uma membrana de separação de água 310d no processo para manufaturar o módulo de membrana de separação de água 310.

Como outro exemplo do módulo de membrana de separação de

água tipo monolito da presente forma de realização, um módulo de membrana de separação de água 410 pode também ser usado em que, como mostrado nas Figuras 12A e 12B, os aquecedores 20 não são integrados dentro de uma membrana de separação de água 410d, mas são inseridos nos trajetos de fluxo de líquido 410c. A Figura 12B é uma vista seccional tomada ao longo da linha G-G da Figura 12A. No caso em que os aquecedores 20 são inseridos nos trajetos de fluxo 410c, o módulo de membrana de separação de água 410 é configurado de modo que o líquido 50 não escoe para dentro dos trajetos de fluxo 410c, em que os aquecedores 20 são inseridos. O diâmetro do aquecedor 20 e o diâmetro do trajeto de fluxo 410c não são limitados aos tamanhos mostrados na Figura 12. Contudo que o efeito de aquecimento da presente forma de realização seja conseguido, um espaço pode ser provido entre o aquecedor 20 e a parede interna do trajeto de fluxo 410c. Especificamente, o espaço entre o aquecedor 20 e a parede interna do trajeto de fluxo 410c pode ser de 0,1 mm a 2,0 mm. Como um exemplo, um módulo de membrana de separação de água pode ser usado em que os aquecedores 20, tendo um diâmetro de 0,5 mm e um comprimento de 50 mm, que se estendem até uma posição de 50 mm abaixo de uma extremidade superior 410b do módulo de membrana de separação de água 410, são aquecidos a 200 °C e são providos em nove furos de trinta furos, cada um tendo um diâmetro de 3 mm, providos no módulo de membrana de separação de água 410 tendo um diâmetro de 30 mm e um comprimento de 150 mm, como o módulo de membrana de separação de água tipo monolito mostrado na Figura 8. Entretanto, a configuração do módulo de membrana de separação de água 410 não é limitada à configuração acima descrita.

Um módulo de membrana de separação de água tipo tubular 510 da presente forma de realização, mostrado nas Figuras 13A e 13B, é explicado como outro exemplo. A Figura 13B é uma vista seccional tomada ao longo da linha H-H da Figura 13A. Para o módulo de membrana de

separação de água tipo tubular 510 da presente forma de realização, na membrana de separação de água 210d do módulo de membrana de separação de água 210 mostrado nas Figuras 9A e 9B, os aquecedores 20 são providos na direção paralela a um trajeto de fluxo de líquido 510c. Seu efeito vantajoso de instalação e operacional é o mesmo que aqueles do módulo de membrana de separação de água tipo monolito 310 mostrado na Figura 11. Como um exemplo do módulo de membrana de separação de água tipo tubular 510 da presente forma de realização, o módulo de membrana de separação de água pode ser usado em que um aquecedor 20, tendo um diâmetro de 3,0 mm e um comprimento de 50 mm, que se estende para uma posição de 50 mm abaixo de uma extremidade superior 510b do módulo de membrana de separação de água 510, é aquecido a 200 °C, é provido em uma membrana de separação de água 510b do módulo de membrana de separação de água 510, tendo um diâmetro externo de 10 mm, um diâmetro interno de 7 mm e um comprimento de 150 mm, como o módulo de membrana de separação de água tipo tubular mostrado na Figura 9. Entretanto, a configuração do módulo de membrana de separação de água 510 não é limitado à configuração acima descrita.

Como o módulo de membrana de separação de água tipo tubular 510 da presente forma de realização, um módulo de membrana de separação de água, que é manufaturado pelo mesmo método que aquele para o módulo de membrana de separação de água tipo monolito 310, pode ser usado.

No método de desidratação para uma mistura de etanol e água utilizando o aparelho de desidratação 401 da presente forma de realização, os aquecedores 20 providos no módulo de membrana de separação de água aquecem o líquido 50 escoando nos trajetos de fluxo 10c, via a membrana de separação, no lado da membrana de separação de água. O aquecedor 20 pode aquecer o líquido a 50 a 70 °C a uma temperatura menor do que 80 °C. Uma vez que o líquido 50 é aquecido pelo lado interno do módulo de membrana, o

líquido 50 é aquecido eficientemente, de modo que pode ser provido elevado desempenho de membrana, mesmo na última parte do módulo de membrana de separação de água. Uma vez que o vapor d'água 51 e o calor liberado pela membrana de separação de água 10d para o envoltório 11 são aspirados ao serem despressurizados da parte inferior do envoltório 11, o vapor d'água 51 e o calor são circulados por fluxo de convecção do topo para a base do envoltório 11 e são recuperados do duto de vácuo 14. A pressão do envoltório 11 é preferivelmente reduzida a cerca de 10 a 100 torr (1333,22 a 13332,2 Pa). O aparelho de desidratação 401 da presente forma de realização oferece um efeito vantajoso de que o líquido 50 pode ser aquecido eficazmente e, portanto, o grau de desidratação por área unitária de membrana aumenta.

Em seguida, a Figura 5 mostra uma forma de realização do sistema de desidratação de acordo com a presente invenção.

O sistema de desidratação mostrado na Figura 5 inclui um adicionalmente 1, um dispositivo de medição de concentração 2 para medir a concentração de anidrido ou água contidos em um líquido a ser desidratado, um regulador de fluxo 3, um trocador de calor e um dispositivo de redução de pressão 13, como componentes principais. O dispositivo de medição de concentração 2, para medir a concentração de anidrido ou água, é provido a jusante do aparelho de desidratação 1. O regulador de fluxo 3 é provido a montante do aparelho de desidratação 1. O dispositivo de medição de concentração 2 e o regulador de fluxo 3 são conectados entre si. O trocador de calor é provido no centro do aparelho de desidratação 1 e do regulador de fluxo 3. O dispositivo de redução de pressão 13 é conectado ao aparelho de desidratação 1.

Qualquer aparelho de desidratação 1 exemplificado nas formas de realização mostradas nas Figuras 1 a 4 pode ser usado no presente sistema e cada aparelho de desidratação pode ter a mesma configuração e operação. O aparelho de desidratação 1 mostrado na Figura 5 é uma vista esquemática em

que a direção de fluxo de líquido, as posições de instalação de uma pluralidade de módulos de membrana de separação de água e as posições da entrada de líquido e saída de líquido não são mostradas exatamente.

5 O dispositivo de medição de concentração 2 mede a concentração de anidrido ou água no líquido 50 recuperado do aparelho de desidratação 1, para avaliar o efeito da desidratação. Especificamente, um cromatógrafo gasoso, um densitômetro ou similares podem ser usados. Um dispositivo de medição, capaz de fazer medição on-line, é preferível.

10 O regulador de fluxo 3 regula a quantidade de líquido 50 alimentado ao aparelho de desidratação 1. Como regulador de fluxo 3, um regulador de fluxo capaz de controlar uma válvula 4, a fim de aumentar ou diminuir a quantidade do líquido 50 alimentado ao aparelho de desidratação 1, em resposta às informações de concentração remetidas pelo dispositivo de medição de concentração 2, pode ser usado.

15 Uma forma de realização de um método para desidratar um líquido, que é uma mistura de etanol e água, utilizando-se o sistema de desidratação da forma de realização acima descrita, é explicada.

20 Como mostrado na Figura 5, 95 % em peso de etanol são aquecidos pelo trocador de calor e são alimentados dentro do aparelho de desidratação 1. No aparelho de desidratação 1, água é removida do líquido 50 e o líquido tendo aumentada concentração de etanol é recuperado. A cromatografia gasosa, que é o dispositivo de medição de concentração 2 para medir a concentração de anidrido ou água, provido a jusante do aparelho de desidratação 1, mede a concentração de etanol contido no líquido recuperado  
25 50. A medição da concentração de etanol é feita on-line todas as vezes. O cromatógrafo gasoso remete o resultado de medição para o regulador de fluxo 3 conectado ao cromatógrafo gasoso. O regulador de fluxo 3 regula a quantidade do líquido 50 alimentado ao aparelho de desidratação 1, em resposta ao resultado de medição da concentração de etanol. Especificamente,

quando a concentração de etanol é baixa, a quantidade do líquido 50 suprido ao aparelho de desidratação 1 é diminuída. Pela regulação, a concentração de etanol na saída do aparelho de desidratação 1 é monitorada e é realimentada ao regulador de fluxo 3, pelo que um sistema capaz de obter etanol de  
5 qualidade estável pode ser obtido.

Como uma modificação da forma de realização mostrada na Figura 5, um sistema de desidratação, que inclui o dispositivo de medição de concentração 2 e não inclui um regulador de fluxo, pode também ser usado. Na forma de realização modificada, o dispositivo de medição de concentração  
10 de líquido 2, tal como um cromatógrafo gasoso, pode meramente monitorar a concentração do etanol recuperado e, em alguns casos, pode atuar como um barômetro do tempo de substituição da membrana de separação de água, por exemplo.

De acordo com a forma de realização mostrada na Figura 5 e sua modificação, ao prover o dispositivo de medição de concentração 2, a  
15 concentração de anidrido, tal como etanol, ou água na saída do aparelho de desidratação 1, pode ser detectada, de modo que um sistema de desidratação estável pode ser provido.

A Figura 6 mostra outra forma de realização do sistema de  
20 desidratação de acordo com a presente invenção.

O sistema de desidratação mostrado na Figura 6 inclui um primeiro aparelho de desidratação 1, um segundo aparelho de desidratação 1 e um misturador 5 como componentes principais. Os dois aparelhos de desidratação adjacentes 1 são conectados em série por um tubo. O misturador  
25 5 é provido a jusante do primeiro aparelho de desidratação e a montante do segundo aparelho de desidratação.

Qualquer aparelho de desidratação 1 exemplificado nas formas de realização mostradas nas Figuras 1 a 4 pode ser usado no presente sistema e cada aparelho de desidratação pode ter a mesma configuração e operação.



Em particular, no sistema de desidratação mostrado na Figura 6, o primeiro aparelho de desidratação 1 tem uma configuração de modo que uma pluralidade de módulos de membrana de separação de água 10 são providos em paralelo no corpo de aparelho.

5 O misturador 5 é usado para misturar o líquido desidratado, que é recuperado do primeiro aparelho de desidratação 1. Como o misturador 5, por exemplo, um misturador tipo pá, provido dentro do tubo, pode ser usado.

10 Uma forma de realização de um método para desidratar uma mistura de etanol e água, utilizando-se o sistema de desidratação da forma de realização acima descrita, é explicada.

Como mostrado na Figura 6, o líquido 50, contendo 95 % em peso de etanol, é aquecido pelo trocador de calor e é alimentado ao primeiro aparelho de desidratação 1. No primeiro aparelho de desidratação 1, água é removida do líquido 50 como um vapor d'água 51 pelos módulos de membrana de separação de água. O líquido 50, tendo aumentada concentração de etanol, é recuperado. Em alguns casos, o líquido 50, recuperado de cada um dos módulos, tem uma diferente concentração de etanol, dependendo das diferenças individuais entre os módulos de membrana de separação de água.

15 Em seguida, o líquido 50 de cada um dos módulos é coletado em um tubo e é alimentado ao misturador 5. No misturador 5, o líquido coletado 50 é misturado suficientemente, de modo que a concentração torna-se uniforme e então este é alimentado ao segundo aparelho de desidratação 1. No segundo aparelho de desidratação 1, água é ainda removida do líquido 50 como o vapor d'água 51 e o etanol desidratado com uma mais elevada pureza é recuperado.

20 25

Como uma modificação da forma de realização acima descrita, um sistema de desidratação, em que três ou mais aparelhos de desidratação 1 são conectados em série, pode ser também usado. Neste caso também,

igualmente, os misturadores são providos a montante do segundo e subsequentes aparelhos de desidratação. Também o sistema de desidratação da presente invenção pode ser um sistema que não inclua o dispositivo de medição de concentração 2 ou o regulador de fluxo 3. O sistema de desidratação da presente forma de realização pode utilizar um aparelho de desidratação, em que gás inerte é suprido ao envoltório, como explicado por aquele mostrado na Figura 2 em lugar do aparelho de desidratação 1, que é conectado com o dispositivo de redução de pressão.

De acordo com a forma de realização mostrada na Figura 6 e sua modificação, ao prover o misturador 5, o líquido 50 pode ser alimentado ao próximo aparelho de desidratação 1, após as variações de concentração de anidrido no líquido 50 recuperado pelo módulo de membrana de separação de água, que pode ser gerado no aparelho de desidratação 1 provido com a pluralidade de módulos de membrana de separação de água, são eliminados e o líquido recuperado 50 é tornado uniforme. Sem a mistura pelo misturador, a desidratação no primeiro aparelho de desidratação pode tornar-se inútil. Por exemplo, no caso em que o líquido recuperado de alguns módulos de membrana de separação de água obtenha uma concentração de anidrido de 99,9%, que é acima da concentração alvo, e o líquido recuperado de outros módulos de membrana de separação de água obtenha uma concentração de anidrido de 97,0%, que é abaixo da concentração alvo, se o misturador 5 estiver ausente, o líquido 50, tendo diferentes concentrações, é alimentado ao segundo aparelho de desidratação como é. Nesta ocasião, mesmo se o líquido tendo uma concentração de anidrido de 99,9% fosse alimentado ao segundo aparelho de desidratação e o procedimento de desidratação fosse ainda conduzido, mais efeito de desidratação pode não ser conseguido e o procedimento seria inútil. Por outro lado, mesmo se o líquido tendo uma concentração de anidrido de 97,0% fosse alimentado ao segundo aparelho de desidratação e o procedimento de desidratação fosse ainda conduzido, a

concentração alvo não pode ser alcançada e, em alguns casos, a concentração de anidrido finalmente obtida não alcança a concentração alvo. Ao contrário, no caso em que a concentração de anidrido no líquido 50 de cada um dos módulos de membrana de separação de água tornada uniforme pelo

5    misturador 5 e este líquido 50 for alimentado ao segundo aparelho de desidratação 1, pelo menos um procedimento inútil não é pré-formado e o efeito da desidratação no primeiro aparelho de desidratação 1 é colocado em bom uso no subsequente aparelho de desidratação 1. Assim, a prover o misturador 5, o efeito de desidratação em um aparelho de desidratação 1 pode

10    ser confiavelmente refletido no subsequente aparelho de desidratação e o sistema de desidratação pode ser estabilizado totalmente.

## REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender, em um corpo de aparelho de desidratação,

um módulo de membrana de separação de água, em que uma  
5 membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que o líquido passe através, é provido com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e

um envoltório definido pela superfície externa do módulo de  
10 membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação, em que um aquecedor é provido no envoltório próximo da saída de líquido e um orifício de conexão, para conexão com um dispositivo de redução de pressão, é provido no envoltório próximo da entrada de líquido; e

quando um líquido eleva-se na membrana de separação de  
15 água, água do líquido permeia a membrana de separação de água e move-se para dentro do envoltório, por meio do que o líquido é desidratado.

2. Aparelho de desidratação de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender ainda uma entrada de gás inerte no envoltório próximo da saída de líquido.

20 3. Aparelho de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender, em um corpo de aparelho de desidratação,

um módulo de membrana de separação de água, em que uma  
membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo nas  
direções ascendente e descendente, para fazer com que o líquido passe  
25 através, é provido com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e

um envoltório definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação, em que uma entrada de gás inerte é provida no envoltório

próximo da saída de líquido e uma saída de gás inerte no envoltório, próximo da entrada de líquido.

4. Aparelho de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender, em um corpo de aparelho de desidratação,

5 um módulo de membrana de separação de água, em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que um líquido passe através, é provido com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e

10 um envoltório definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação, em que pelo menos um aquecedor é provido na membrana de separação de água e um orifício de conexão para conexão com um dispositivo de redução de pressão, é provido no envoltório próximo da entrada de líquido;

15 e

quando o líquido se eleva na membrana de separação de água, água do líquido permeia a membrana de separação de água e move-se para dentro do envoltório, pelo que o líquido é desidratado.

5. Aparelho de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender, em um corpo de aparelho de desidratação,

20 um módulo de membrana de separação de água, em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que um líquido passe através, é provido com uma entrada de líquido em sua base e  
25 uma saída de líquido em seu topo; e

um envoltório definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação, em que pelo menos um aquecedor é provido dentro da membrana de separação de água, uma entrada de gás inerte é provida no

envoltório próximo da saída de líquido e uma saída de gás inerte é provida no envoltório próximo da entrada de líquido.

5 6. Aparelho de desidratação de acordo com a reivindicação 4 ou 5, caracterizado pelo fato de compreender ainda um aquecedor provido no envoltório próximo da saída de líquido.

10 7. Aparelho de desidratação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato do aparelho de desidratação ser de um tipo de tratamento em série, em que pelo menos dois módulos de membrana de separação de água são dispostos em paralelo no corpo de aparelho de desidratação e a saída de líquido de um módulo de membrana de separação de água é conectada à entrada de líquido de outro módulo de membrana de separação de água.

15 8. Aparelho de desidratação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de compreender ainda uma placa defletora provida no envoltório.

9. Sistema de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender:

o aparelho de desidratação como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 8;

20 um aquecedor de líquido provido a montante do aparelho de desidratação; e

um meio de redução de pressão, conectado quando necessário ao envoltório próximo da saída de líquido do aparelho de desidratação.

25 10. Sistema de desidratação de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de compreender ainda um dispositivo de medição de concentração de líquido provido a jusante do aparelho de desidratação.

11. Sistema de desidratação de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de compreender ainda um regulador de fluxo de líquido, que é provido a montante do aparelho de desidratação e é conectado

ao dispositivo de medição de concentração de líquido.

12. Sistema de desidratação de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 11, caracterizado pelo fato de

o aparelho de desidratação compreender pelo menos dois  
5 módulos de membrana de separação de água conectados em paralelo;  
pelo menos dois aparelhos de desidratação serem conectados em série; e

um misturador para misturar um líquido recuperado pelo aparelho de desidratação ser provido em um tubo conectando os dois  
10 aparelhos de desidratação conectados em série.

13. Método de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender:

passar um líquido através de uma membrana de separação de água tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções  
15 ascendente e descendente, a partir de uma entrada de base em direção à saída de topo;

reduzir a pressão do lado externo da membrana de separação de água, de modo que água do líquido permeie a membrana de separação de água;

20 aquecer uma parte próximo da saída de topo da membrana de separação de água do lado externo da membrana de separação de água; e

despressurizar uma parte próximo da entrada de base no lado externo da membrana de separação de água, para gerar fluxo de convecção de calor da parte superior para a parte inferior do lado externo da membrana de  
25 separação de água.

14. Método de desidratação de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de compreender ainda fazer com que um gás inerte aquecido escoe da parte superior para a parte inferior no lado externo da membrana de separação de água.

15. Método de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender:

passar um líquido através de uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, de uma entrada de base em direção a uma saída de topo;

reduzir a pressão do lado externo da membrana de separação de água, de modo que uma água do líquido permeie a membrana de separação de água; e

fazer com que um gás inerte aquecido escoe da parte superior para a parte inferior no lado externo da membrana de separação de água, para gerar fluxo de convecção de calor da parte superior para a parte inferior do lado externo da membrana de separação de água.

16. Método de desidratação, caracterizado pelo fato de compreender:

passar um líquido através de uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, de uma entrada de base para uma saída de topo;

reduzir a pressão do lado externo da membrana de separação de água, de modo que um água do líquido permeie a membrana de separação de água;

aquecer a membrana de separação de água do lado interno da membrana de separação de água; e

despressurizar uma parte próximo da entrada de base da membrana de separação de água para gerar fluxo de convecção de calor da parte superior para a parte inferior do lado externo da membrana de separação de água.

17. Método de desidratação de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 16, caracterizado pelo fato de compreender ainda as



etapas de:

medir a concentração de anidrido ou água no líquido; e

regular a quantidade de líquido alimentada à membrana de separação de água, dependendo da concentração.

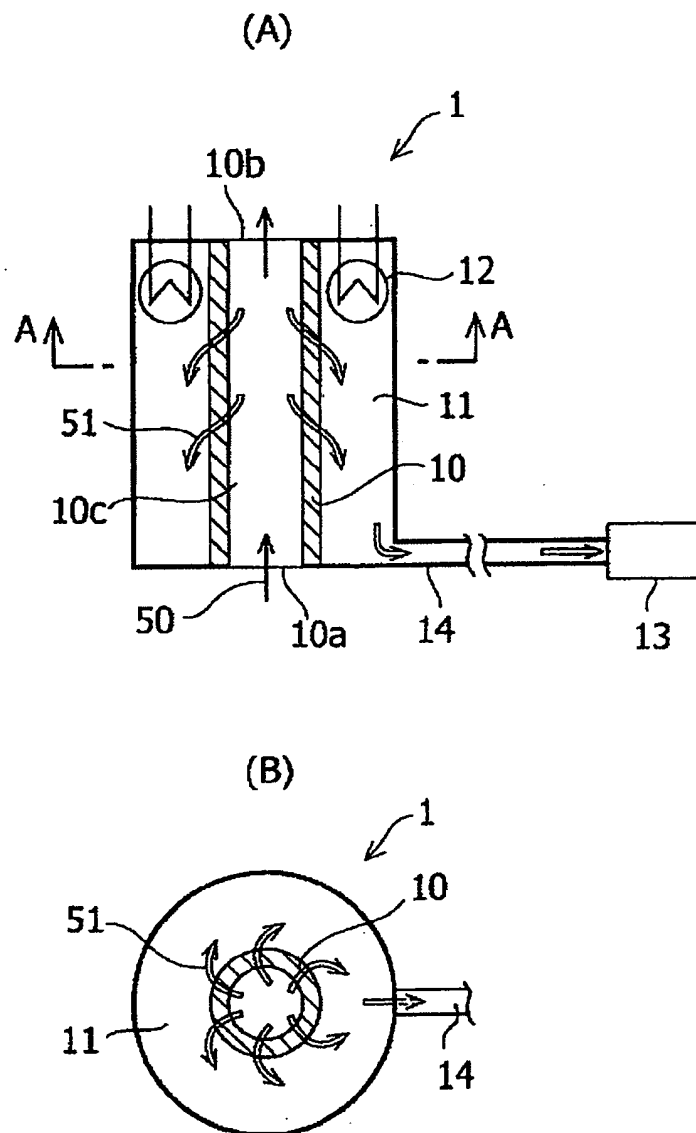
5 18. Método de desidratação de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 16, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

desidratar o líquido utilizando-se pelo menos duas membranas de separação de água dispostas em paralelo;

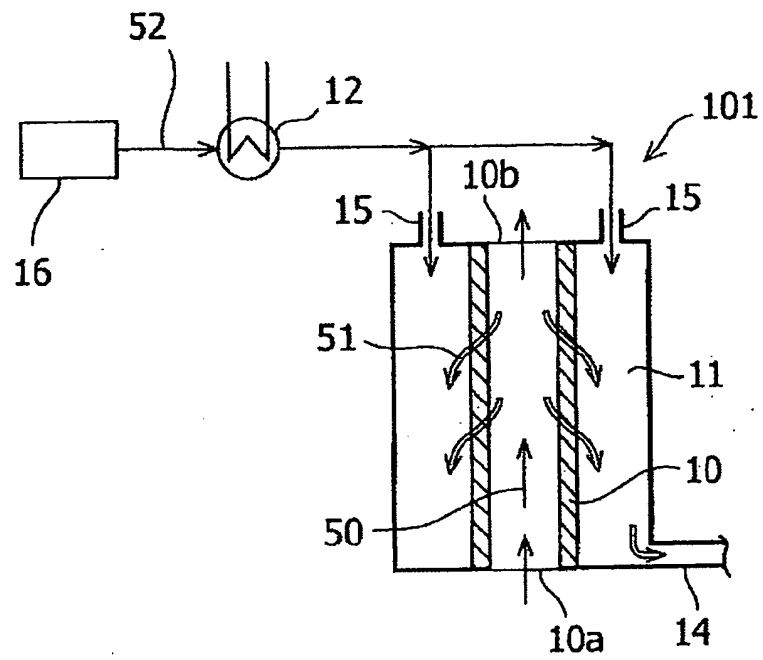
10 misturar o líquido recuperado de cada uma das membranas de separação de água; e

desidratar ainda o líquido misturado utilizando-se uma membrana de separação de água.

FIG. 1



**FIG. 2**



**FIG. 3**

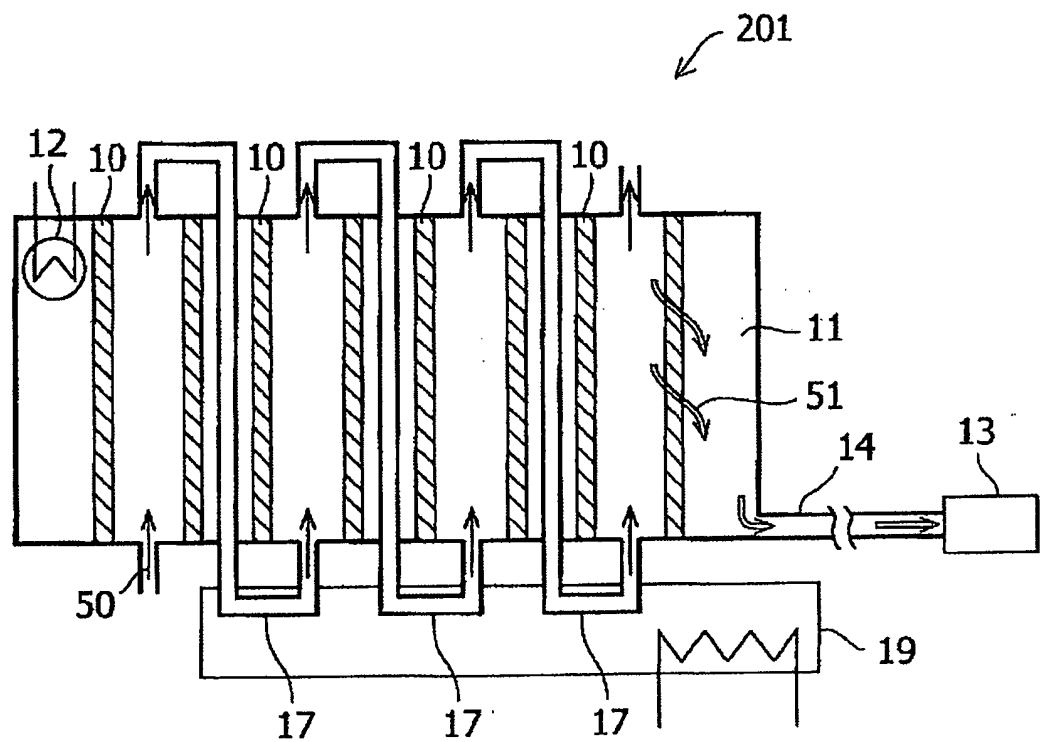


FIG. 4

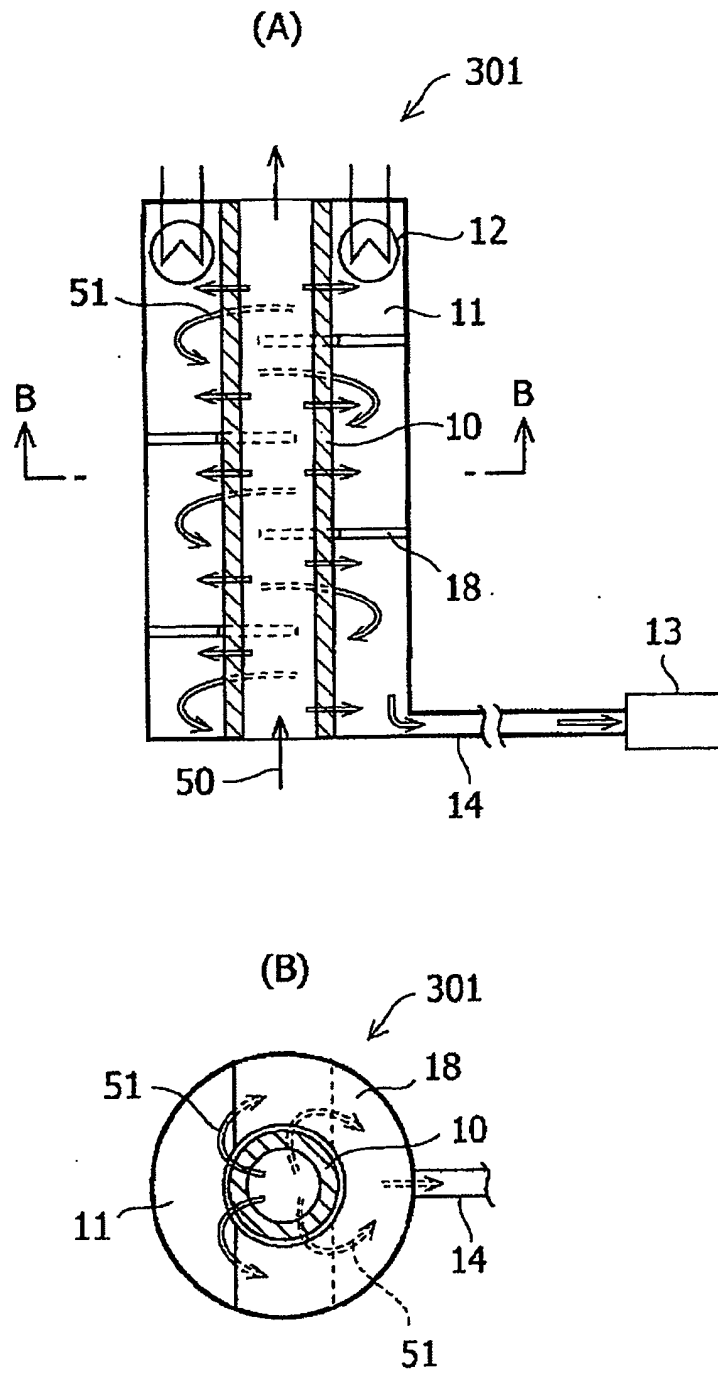
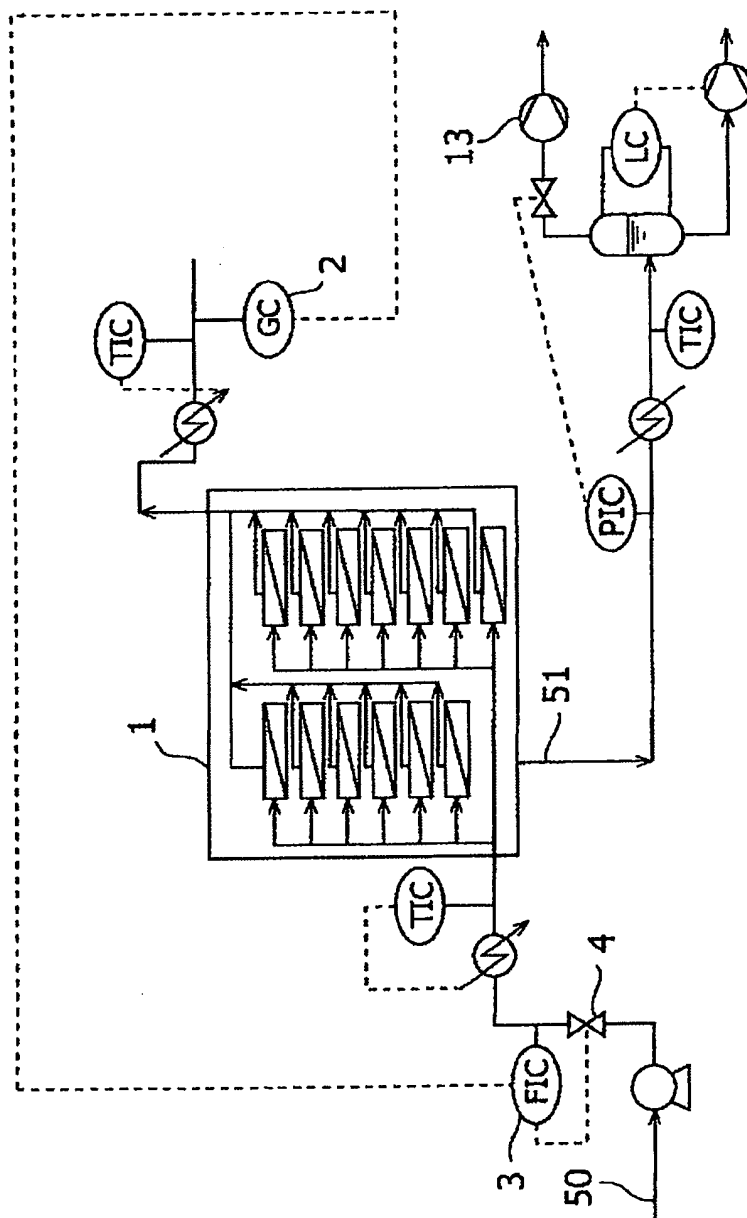


FIG. 5



**FIG. 6**

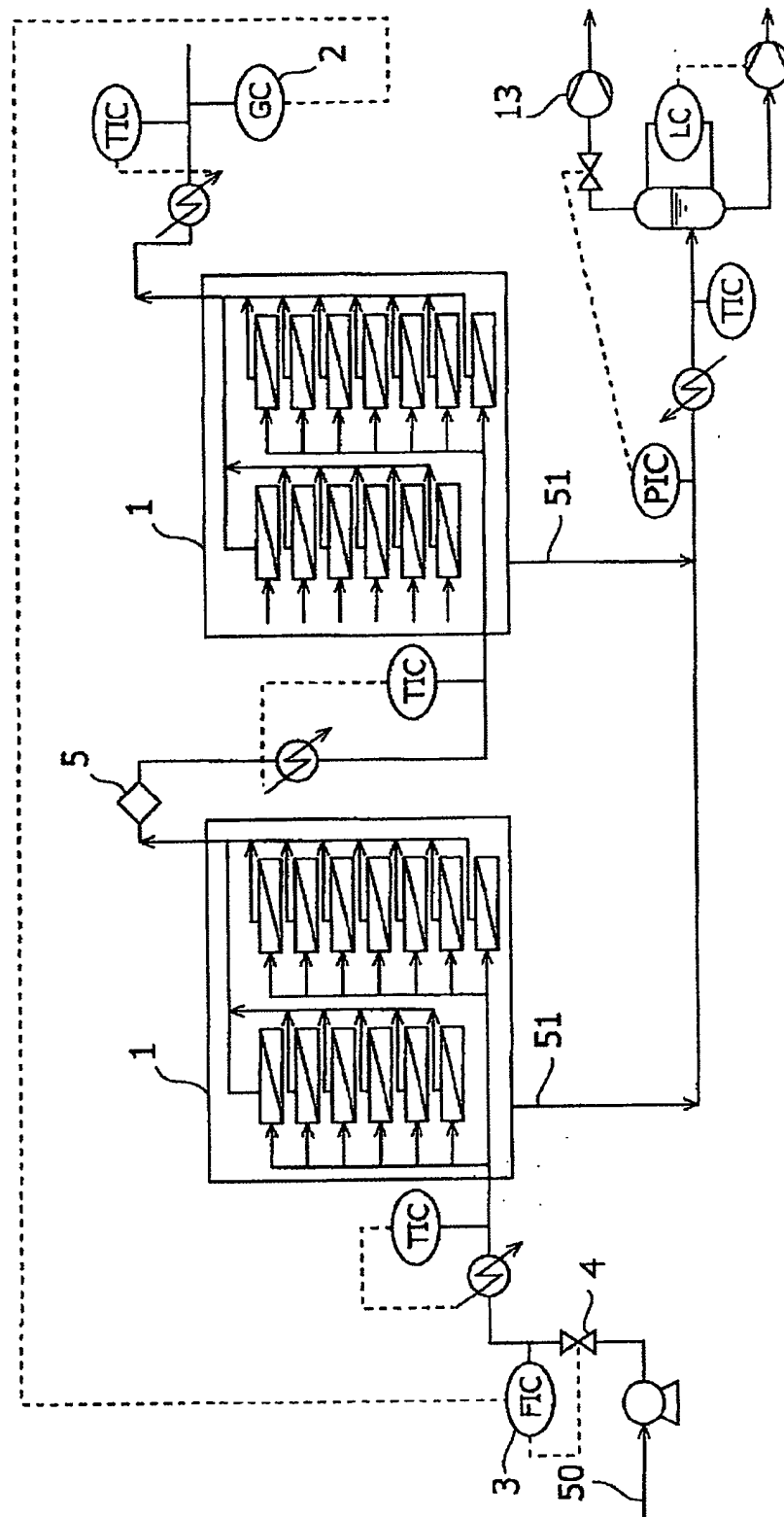


FIG. 7

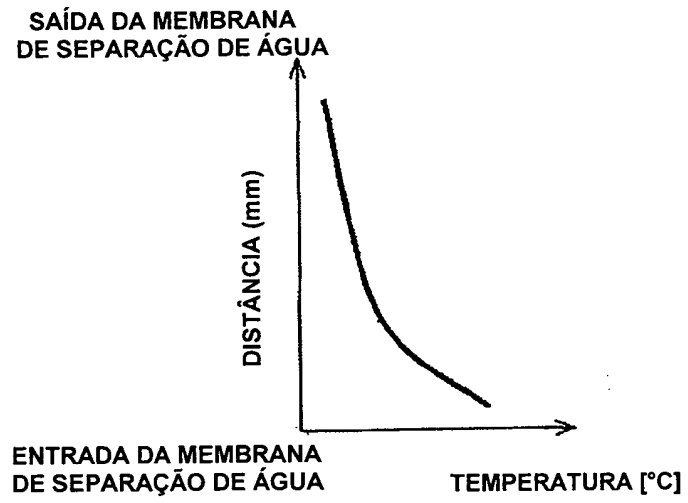


FIG. 8

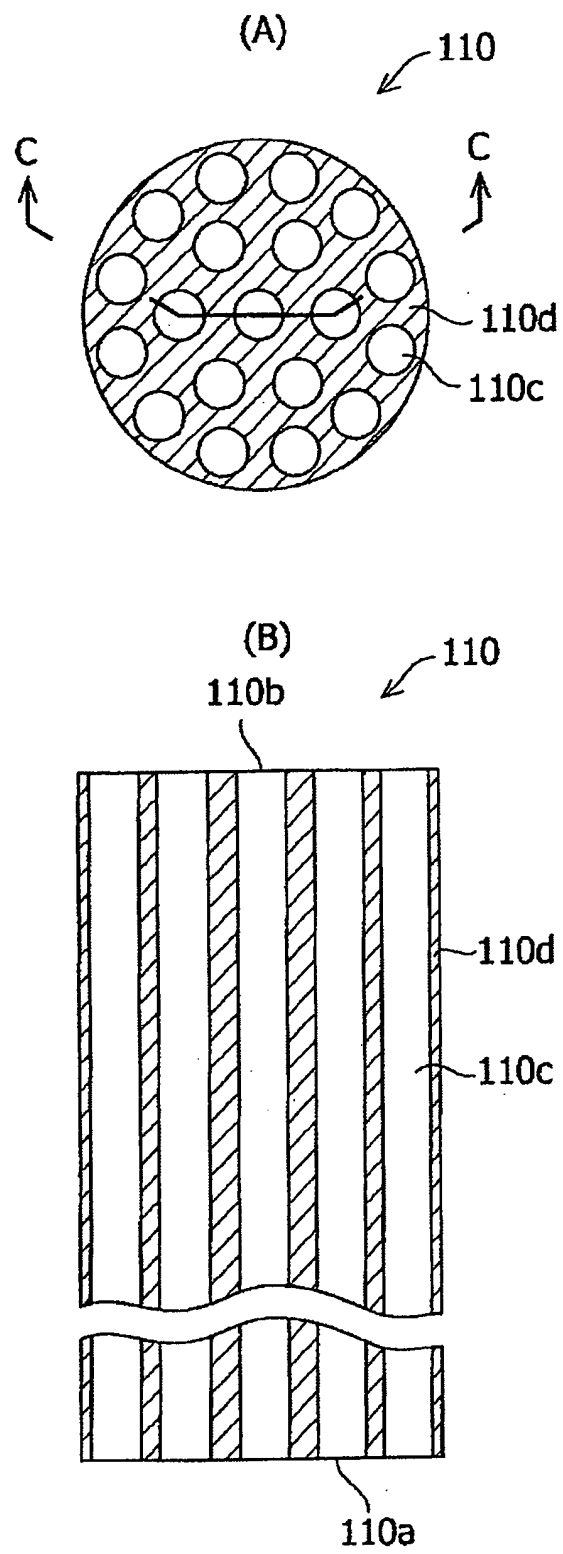




FIG. 9

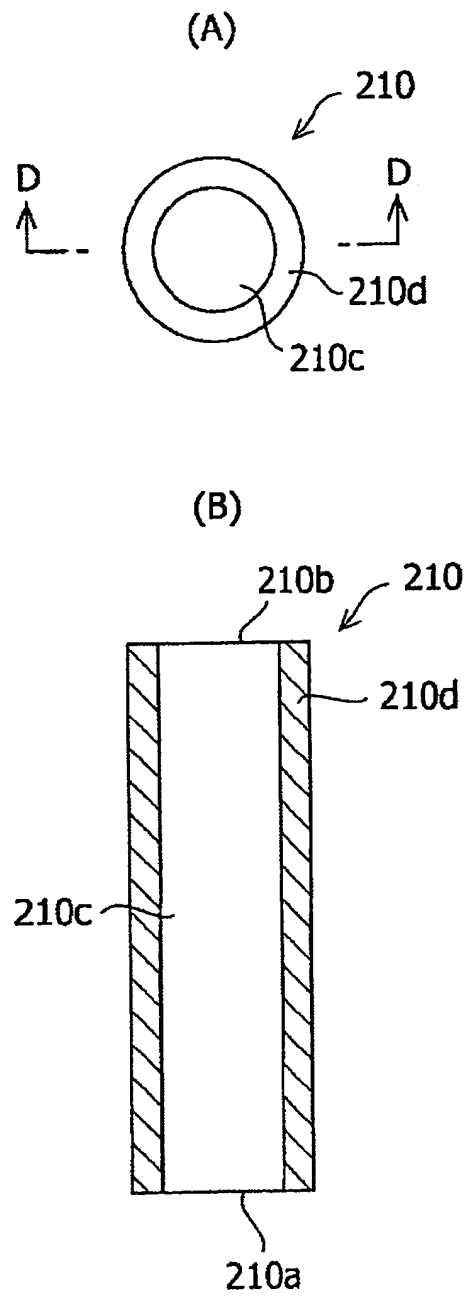


FIG. 10

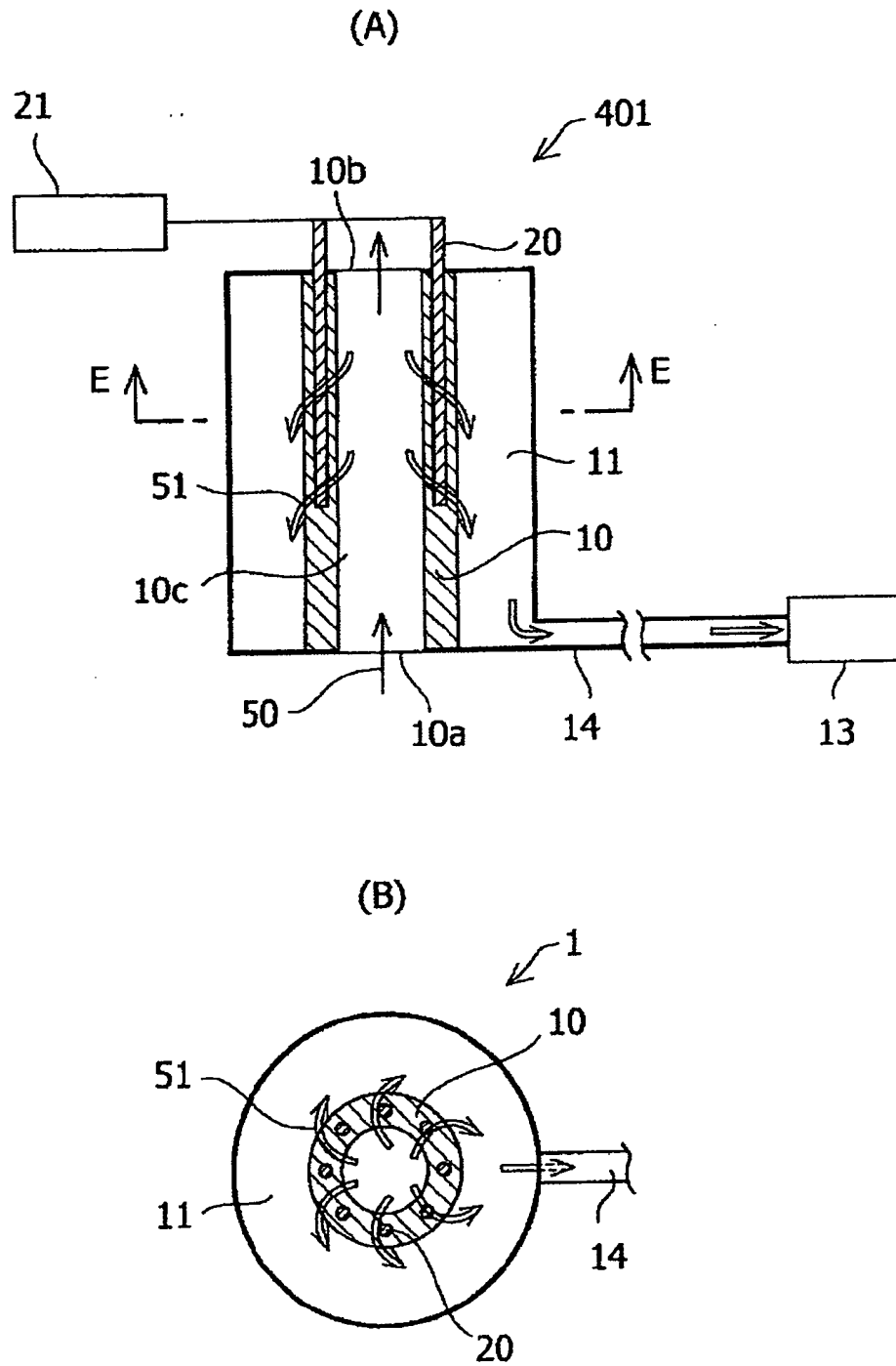


FIG. 11

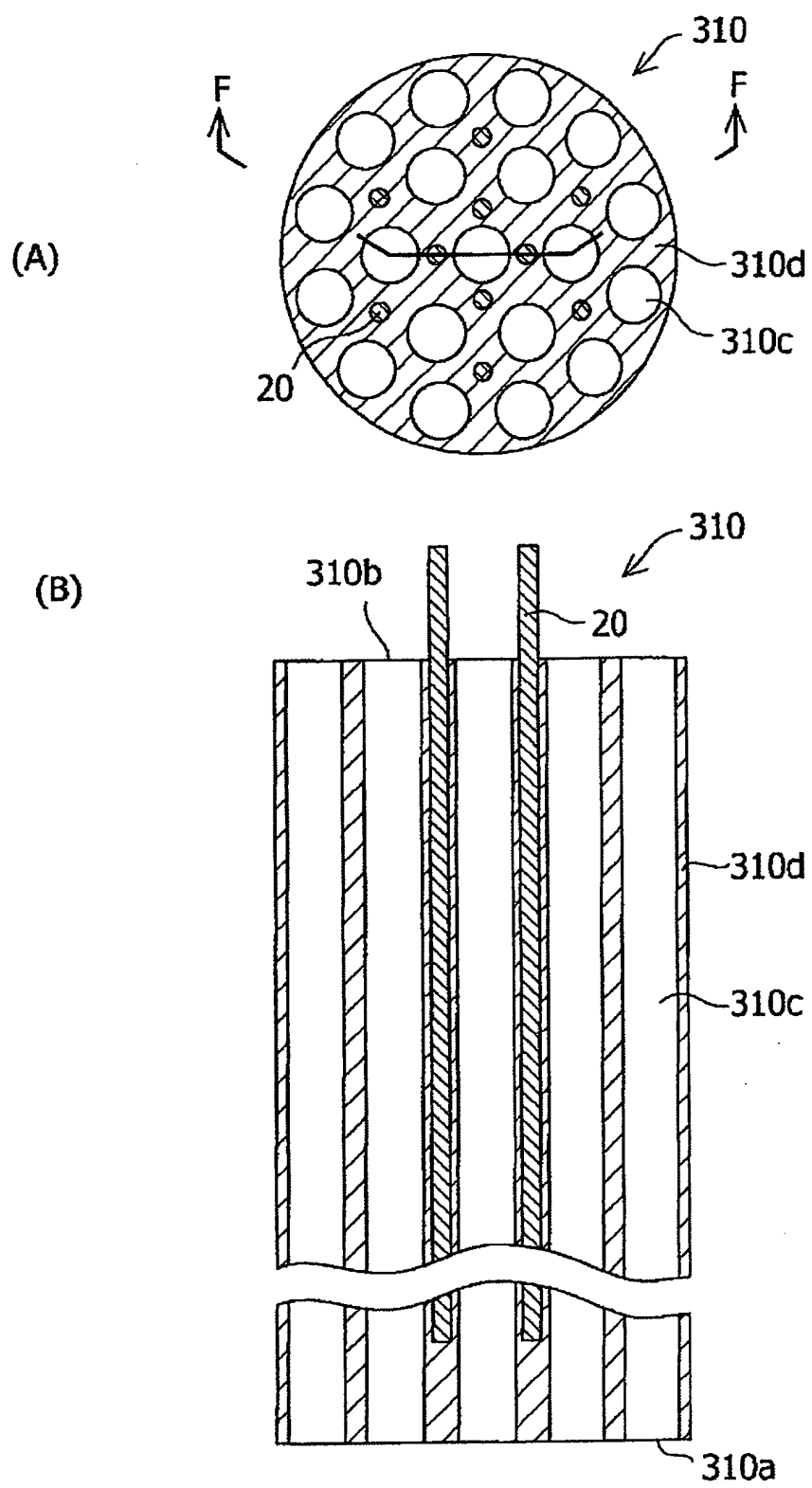


FIG. 12

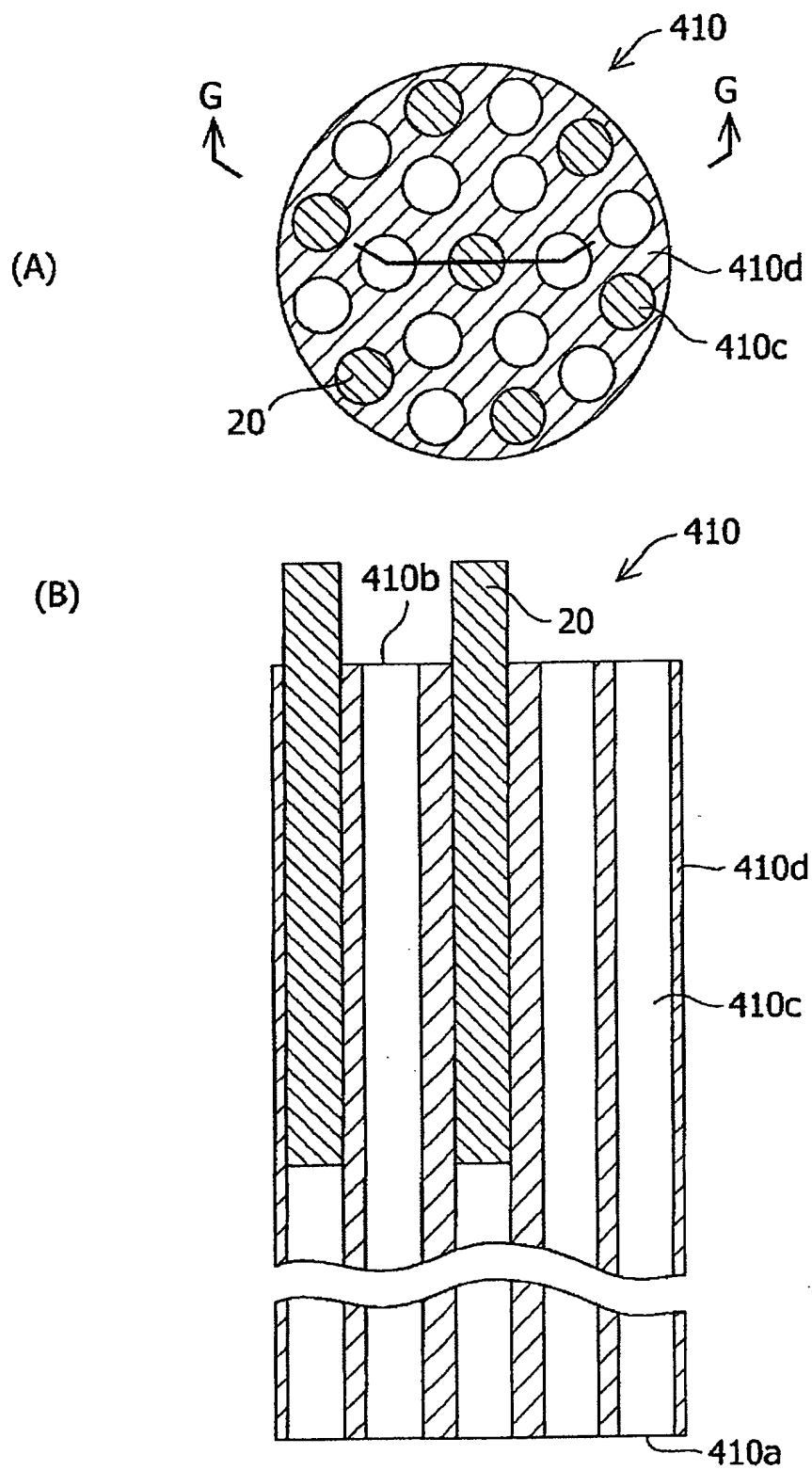
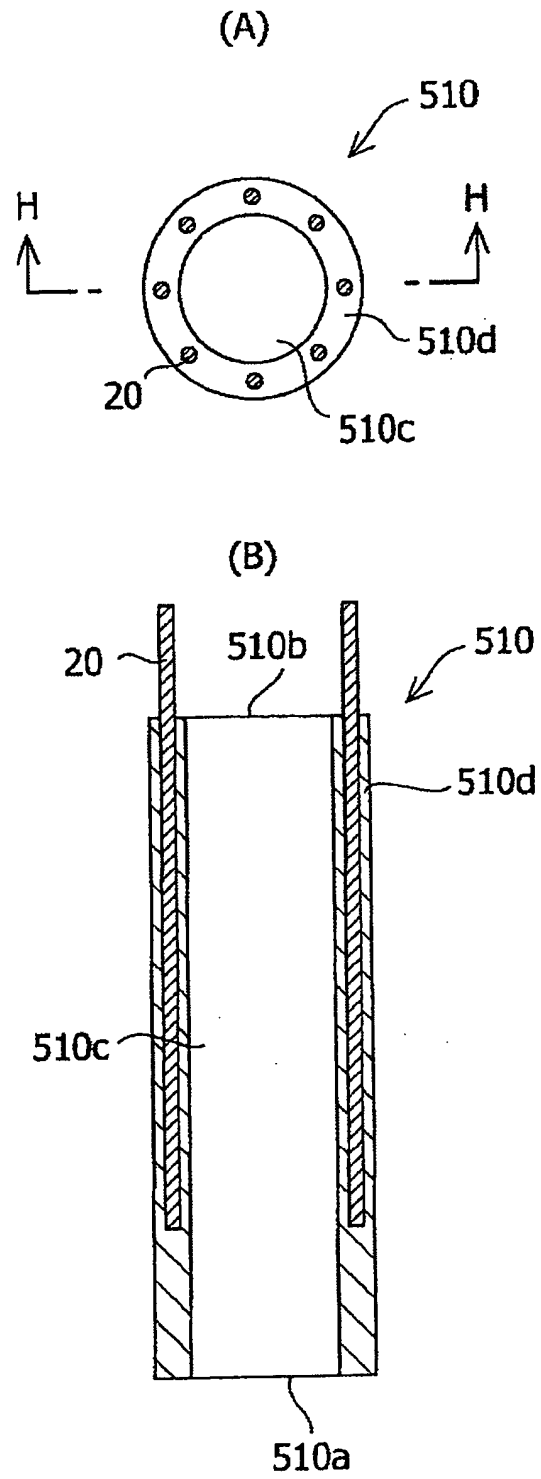


FIG. 13



RESUMO“APARELHO, SISTEMA E MÉTODO DE DESIDRATAÇÃO”

Um aparelho de desidratação, um sistema de desidratação e um método de desidratação têm melhorado desempenho de membrana. O

5 aparelho de desidratação (1) inclui, em um corpo de aparelho de desidratação, um módulo de membrana de separação de água (10), em que uma membrana de separação de água, tendo pelo menos um trajeto de fluxo estendendo-se nas direções ascendente e descendente, para fazer com que um líquido passe

10 através, é provida com uma entrada de líquido em sua base e uma saída de líquido em seu topo; e um envoltório (11), definido pela superfície externa do módulo de membrana de separação de água e a parede interna do corpo de aparelho de desidratação. Um aquecedor (12) é provido no envoltório próximo da saída de líquido e um orifício de conexão (14), para conexão com

15 um dispositivo de redução de pressão (13), é provido no envoltório próximo da entrada de líquido. Quando o líquido eleva-se na membrana de separação de água, água do líquido permeia a membrana de separação de água e move-se para dentro do envoltório, por meio do que o líquido é desidratado.