

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2001.07.20</b>	(73) Titular(es): <b>STATKRAFT DEVELOPMENT AS LILLEAKERVEIEN 6 0283 OSLO</b>	<b>NO</b>
(30) Prioridade(s): <b>2000.08.04 NO 20003977</b>		
(43) Data de publicação do pedido: <b>2003.06.04</b>	(72) Inventor(es): <b>THOR THORSEN TORLEIF HOLT</b>	<b>NO NO</b>
(45) Data e BPI da concessão: <b>2010.11.10 026/2011</b>	(74) Mandatário: <b>MANUEL ANTÓNIO DURÃES DA CONCEIÇÃO ROCHA AV LIBERDADE, Nº. 69 1250-148 LISBOA</b>	<b>PT</b>

(54) Epígrafe: **UTILIZAÇÃO DE UMA MEMBRANA SEMIPERMEÁVEL EM OSMOSE RETARDADA POR PRESSÃO PARA SE OBTER ENERGIA ELÉCTRICA E CENTRAL ELÉCTRICA**

(57) Resumo:

A PRESENTE INVENÇÃO REFERE-SE A UMA MEMBRANA SEMIPERMEÁVEL QUE CONSISTE NUMA CAMADA FINA DE UM MATERIAL NÃO POROSO (A PELÍCULA DE DIFUSÃO) E DE UMA OU MAIS CAMADAS DE UM MATERIAL POROSO (CAMADA POROSA), ONDE A CAMADA POROSA POSSUI UMA ESTRUTURA EM QUE A POROSIDADE, ESPESSURA DA MEMBRANA X(M) E TORTUOSIDADE ESTÃO RELACIONADAS ENTRE SI TAL COMO APRESENTADO PELA EXPRESSÃO:  $X.T=Q.S$  EM QUE S É UM PARÂMETRO DE ESTRUTURA É AINDA DESCRITO UM MÉTODO PARA PROPORCIONAR PRESSÃO ELEVADA POR OSMOSE ASSIM COMO UM DISPOSITIVO PARA FACULTAR UMA PRESSÃO OSMÓTICA ELEVADA E ENERGIA ELÉCTRICA.

**RESUMO****"UTILIZAÇÃO DE UMA MEMBRANA SEMIPERMEÁVEL EM OSMOSE  
RETARDADA POR PRESSÃO PARA SE OBTER ENERGIA ELÉCTRICA E  
CENTRAL ELÉCTRICA"**

A presente invenção refere-se a uma membrana semipermeável que consiste numa camada fina de um material não poroso (a película de difusão) e de uma ou mais camadas de um material poroso (camada porosa), onde a camada porosa possui uma estrutura em que a porosidade  $\phi$ , espessura da membrana  $x(m)$  e tortuosidade  $\tau$  estão relacionadas entre si tal como apresentado pela expressão:

$$\chi \cdot \tau = \phi \cdot S$$

Em que  $S$  é um parâmetro de estrutura

É ainda descrito um método para proporcionar pressão elevada por osmose assim como um dispositivo para facultar uma pressão osmótica elevada e energia eléctrica.

**DESCRIÇÃO****"UTILIZAÇÃO DE UMA MEMBRANA SEMIPERMEÁVEL EM OSMOSE  
RETARDADA POR PRESSÃO PARA SE OBTER ENERGIA ELÉCTRICA E  
CENTRAL ELÉCTRICA"**

A presente invenção refere-se a uma membrana semi-permeável em osmose com características adaptadas ao objecto, e/ou módulos de membrana com perda reduzida de energia, tal como afirmado no preâmbulo da reivindicação 1. De modo mais detalhado, a invenção refere-se à utilização de uma membrana semi-permeável que consiste numa camada fina de um material não poroso (película de difusão) e uma ou mais camadas de um material poroso (camada porosa). É igualmente descrita uma central eléctrica, tal como afirmado no preâmbulo da reivindicação 12, para facultar energia eléctrica através da utilização de elevada pressão osmótica hidráulica.

A Patente norte-americana US 4,283,913 inclui um reservatório de água não-convectiva saturada, a qual captura energia solar e a qual é utilizada como uma unidade de separação em combinação com electrodiálise reversa ou osmose retardada por pressão para produção de energia. A partir do reservatório de água, o qual pode parcialmente separar uma solução, é passada uma corrente mais concentrada e uma corrente menos concentrada para duas câmaras separadas com membrana semipermeável. Partes da energia que é criada pela permeação da corrente com concentração menor através da membrana e mistura subsequente das duas correntes mencionadas, são

transformadas em energia antes de as correntes retornarem ao reservatório de água.

A patente norte-americana US 4,193,267 dá-nos a conhecer um procedimento e um aparelho para reprodução de energia por osmose retardada por pressão, em que uma solução concentrada por pressão hidráulica elevada é passada ao longo de uma membrana semipermeável e onde uma solução diluída é passada ao longo do lado oposto da referida membrana. Uma porção da solução diluída é transportada através da membrana e cria uma solução mista pressurizada. A energia potencial armazenada nesta mistura pressurizada é convertida em energia aplicável por meio de libertação de pressão e pressurizando a solução diluída.

Na Patente norte-americana US 3,978,344 é descrito um procedimento para produzir energia por osmose retardada por pressão ao se utilizar uma turbina e uma membrana semipermeável. Mais ainda, sabe-se que, a partir da Patente norte-americana US 3,906,250, a produção de energia por osmose retardada por pressão por pressurização hidráulica de um primeiro líquido, o qual é introduzido num lado de uma membrana, onde seguidamente é introduzido outro líquido com menor pressão hidráulica e menor pressão osmótica no outro lado duma membrana. A osmose retardada por pressão dará lugar ao transporte de partes do outro líquido através da membrana semipermeável e, assim, é formada uma solução mista pressurizada com maior volume comparativamente ao primeiro líquido por si isoladamente. A energia armazenada é então transformada numa turbina em energia utilizável, tal como energia eléctrica ou mecânica.

A Patente norte-americana US 3,906,250 apresenta um método e aparelho para gerar energia utilizando a osmose

retardada por pressão. É introduzido um primeiro líquido com uma pressão osmótica relativamente alta a uma pressão hidráulica relativamente alta numa primeira via, na qual contacta com um lado de uma membrana semipermeável, e é introduzido um segundo líquido com uma pressão osmótica baixa a uma pressão hidráulica baixa numa segunda, na qual entra em contacto com o lado oposto da membrana. Em todos os lados, nas duas vias, a diferença de pressão hidráulica entre os líquidos em lados opostos da membrana é mantida a um valor que é menor que a diferença de pressão osmótica entre os líquidos. Parte do segundo líquido passa por osmose retardada por pressão através da membrana semipermeável, formando assim uma solução mista pressurizada de maior volume do que o primeiro líquido introduzido na primeira via. A energia potencial armazenada na solução mista pressurizada é depois convertida em energia útil, tal como energia eléctrica ou mecânica. Esta técnica anterior divulga igualmente que, após a energia potencial armazenada na solução mista pressurizada ser convertida em energia útil, o primeiro e segundo líquidos são recuperados ao se separar, da solução mista, uma quantidade do segundo líquido igual à quantidade que passou através da membrana, as temperaturas originais dos tais primeiro e segundo líquidos recuperados são restauradas, a diferença original de pressão hidráulica é reaplicada entre o primeiro e segundo líquidos recuperados e estes são depois reciclados através da primeira e segunda vias.

A Patente europeia EP-0, 882, 493-A2 apresenta um método para transferir massa entre um fluxo de um primeiro fluido numa fase gasosa, tal como gás de combustão e um fluxo de um segundo fluido numa fase líquida, em que o

primeiro fluido está em contacto com a superfície exterior de membranas porosas (semipermeáveis), por exemplo, membranas de politetrafluoroetileno (PTFE, Teflon), na forma de fibras ocas que possuem poros que contêm gás e que estão em contacto com o segundo fluido com a superfície interior das membranas. As membranas úteis para a operação de difusão deste gás possuem uma porosidade ( $\epsilon$ ) de, pelo menos, 0,50, um coeficiente de transferência de massa de, por exemplo, pelo menos 1 cm/s, e um factor de tortuosidade de, por exemplo, no máximo 1,4/  $\epsilon$  e quando a porosidade  $\epsilon$  é inferior a 0,80, e no máximo 1,3/ $\epsilon$  quando a porosidade  $\epsilon$  é 0,80 ou superior. Esta operação irá render um valor baixo do parâmetro da estrutura (em metros) para esta membrana. No entanto, esta membrana de difusão de gás da técnica anterior não pode ser utilizada para osmose ou, para este caso, osmose retardada por pressão. Consequentemente, não existe nenhuma ligação entre uma membrana de difusão de gás e uma de utilização por osmose, uma vez que o modo operativo é totalmente diferente e, por conseguinte, também a estrutura é diferente. Os poros da membrana porosa da técnica anterior contêm, em geral, devido à natureza do mecanismo que faz funcionar a membrana de fibra oca, gás. Mais ainda, a membrana da técnica anterior, tal como apresentada, não possui camada fina de material não poroso formando uma película, apenas o material poroso.

O artigo de Lee et al., "Membranes for Power Generation by Pressure Retarded Osmosis", Journal of Membrane Science, 8 (1981), 141 -171, descreve a teoria de membranas ideais e reais, em que o tratamento matemático das últimas precisa de considerar, em particular, o efeito de polarização por

concentração, isto é, os fenómenos de que as concentrações de sais no interface da solução da membrana são diferentes das concentrações de solução em massa, causadas pelo fluxo de sal e água em direcções opostas. Com base nestas considerações, Lee et al. Resulta a equação (2) para o parâmetro B de permeabilidade salina, tal como ainda abaixo definido.

Há séculos que é sabido que a água salgada e a água doce são divididas em duas câmaras diferentes de uma membrana semipermeável, feita, por exemplo, de uma membrana biológica, por exemplo, de bexiga de porco, a água doce irá pressionar-se a si própria através da membrana. A força de condução tem capacidade para aumentar o nível de água salgada acima do nível de água doce, onde se obtém uma energia potencial na forma de uma altura estática de água. O fenómeno é denominado osmose e pertence às denominadas características coligativas de uma solução de uma substância numa outra substância. Este fenómeno pode ser termodinamicamente descrito e a quantidade de energia potencial é assim conhecida. Num sistema de água doce e água do mar normal, o potencial teórico expresso como pressão é de aproximadamente 26 bares  $1, 2. 6 \times 10^6$  Pa). O potencial de energia pode, em princípio, ser utilizado por diversos métodos técnicos onde a energia pode ser recuperada como, por exemplo, pressão da corrente e alongamento de polímeros. Em dois dos métodos técnicos utilizam-se membranas semipermeáveis e estas são electrodiálise reversa (potencial de energia como tensão eléctrica CC) e osmose retardada por pressão, PRO. (potencial de energia como pressão de água).

Foram feitos cálculos no sentido de se determinar os custos de produção de energia em unidades PRO. A incerteza destes cálculos é ilustrada pelo facto de que os valores registados para os custos de energia oscilam em mais do que uma magnitude. Wimmerstedt (1977) indicou pouco mais do que 1 NOK/kWh, enquanto Lee et. al. (1981) indicou custos proibitivos. Jellinek e Masuda (1981) indicaram custos de menos do que 0,13 NOK/kWh. Thorsen (1996) realizou uma estimativa de custos que indicava 0,25-0,50 NOK/kWh com base numa avaliação de dados recentes para características e preços da membrana. Todas estas avaliações têm por base a utilização de água doce e água do mar. Deste modo, conclusões anteriores indicam custos de energia produzida por PRO e que apresentam grandes variações. Uma elucidação compreensiva sobre os métodos para produção de energia nos dias de hoje e para o futuro é incluída no livro "Renewable Energy" (ed. L. Burnham, 1993) antes da conferência realizada no Rio de Janeiro sobre ambiente e desenvolvimento. Aqui a energia salina é apenas mencionada brevemente e mantém-se a ideia de que os custos são proibitivos.

Quando a água doce é misturada com água salgada, existe um potencial de energia (energia mista) para PRO, que corresponde a uma queda de 260 metros para água doce e os locais de maior interesse são os rios a desaguar no oceano. Na presente invenção, descobriu-se que 35 - 40% desta energia pode ser recuperada por PRO. Numa central eléctrica prática, a energia será libertada como pressão de água em aproximadamente 10 bares na corrente de água salobra, a qual se desenvolve, após a água doce e a água salgada se terem misturado. Esta pressão pode ser utilizada para



colocar em funcionamento as turbinas convencionais. A quantidade eficaz de energia será depois de entre 50 e 100% da queda de energia que ocorre naturalmente em água doce numa base internacional.

De acordo com a presente invenção, o potencial actual para quantidades de energia parece encontrar-se entre 25 - 50% do poder da água, que foi actualmente desenvolvida na Noruega. As centrais de energia com base na presente invenção não levam a emissões significativas no ar ou água. Mais ainda, esta forma de energia é completamente renovável, e utiliza apenas água natural como força de condução do mesmo modo que as centrais de energia hidroeléctrica convencionais. O objecto da presente invenção é tornar possível a utilização comercial de energia salina em grande escala.

A ocupação de área assumida para uma central eléctrica salina pretendida é relativamente pequena e com a mesma magnitude que para uma central eléctrica a gás, e substancialmente menor do que para uma central de energia eólica. O método é, por conseguinte, particularmente amigável para o ambiente. Resumidamente, o método com respeito aos efeitos ambientais e a utilização das propriedades pode ser caracterizado como se segue:

- sem emissões de CO<sub>2</sub> ou outras grandes quantidades de emissões que não água
- renovável, como energia convencional da água
- produção estável, ao contrário da energia eólica e das ondas
- são necessárias pequenas áreas, um facto que reflecte pouca influência na paisagem
- operação flexível

- adequada para pequenas assim como grandes centrais eléctricas

A técnica conhecida não lida com membranas semipermeáveis eficazes com perda de reduzida de energia onde a parte maior de gradiente salino na membrana se encontra presente na mesma camada que a resistência de fluxo se a membrana for utilizada para PRO. Por conseguinte, uma membrana otimizada e eficaz/ módulo de membrana tem que ser desenvolvida quando a necessidade de gradiente salina na membrana e resistência de fluxo, tal como acima mencionado, são atingidas. Este objectivo não pode ser alcançado de forma satisfatória nas membranas existentes destinadas para efeitos de filtração (osmose reversa). Não foi ainda descrito um método para produção de energia eléctrica a partir de pressão osmótica com uma membrana semipermeável eficaz, tal como acima mencionado, num sistema com PRO onde uma parte da pressão osmótica se mantém como satisfatória.

Uma característica importante da presente invenção é que a maior parte do gradiente salino na membrana localiza-se na mesma camada - a película de difusão - como a resistência de fluxo. Mais ainda, o presente de pedido de patente consiste igualmente num material condutor poroso para a película de difusão sem resistência, sem haver necessidade de mencionar, relativamente ao transporte de água e difusão salina. Esta situação não pode ser alcançada de forma satisfatória nas membranas existentes destinadas para efeitos de filtração (osmose reversa)/osmose retardada por pressão, PRO. Na presente invenção, o sal não aparece, por conseguinte, em altas concentrações desfavoráveis em partes da membrana que não na película de difusão. De

acordo com a presente invenção as membranas com estruturas interiores particulares são igualmente importantes. Mais ainda, a polarização por concentração de sal no lado da água do mar das membranas é reduzida comparativamente às membranas convencionais.

Na presente central PRO, a energia de pressão na água salobra é directamente recuperada por meio hidráulico para pressurizar a água do mar recebida. Assim, é evitada uma parte da perda que ocorreria normalmente numa bomba de água comum para este efeito. Ao se evitar esta perda, a central PRO, de acordo com a presente invenção, pode ser construída ao nível do solo em vez de num nível abaixo do solo e, no entanto, atingir a eficácia aceitável.

A recuperação de energia de pressão por pressurização hidráulica directa de água do mar recebida ocorre num dispositivo onde a pressão da turbina, no meio do dispositivo, empurra a água do mar directamente para o módulo de membranas. No outro lado, a água salobra é empurrada para trás e para fora da central PRO à medida que a água do mar é bombeada para dentro. Os processos mencionados que ocorrem nas respectivas metades do dispositivo para efeitos de pressurização hidráulica da água do mar alternam por rotação da parte que contém água ou por um sistema de válvula controlada no dispositivo mencionado. A transferência de pressão hidráulica directa mencionada leva a que o bombear a água do mar com eficácia limitada não seja mais necessária.

A presente invenção descreve membranas semipermeáveis ou módulos de membranas nos quais as membranas incluem uma película de difusão fina com características osmóticas naturais, e a restante parte da membrana uma porosidade

aumentada para que o sal não seja aí recolhido (camada porosa).

A presente invenção é definida na reivindicação 1. Esta inclui uma utilização de uma membrana semipermeável que consiste numa camada fina de um material não poroso que actua como película de difusão, e, pelo menos, uma camada de um material poroso que possua uma estrutura em que a porosidade  $\phi$ , espessura  $x(m)$ , e tortuosidade  $\tau$ , se mantenham em relação uma à outra tal como indicado pela equação

$$x \cdot \tau = \phi \cdot S \quad \text{Equação 1}$$

em que  $S$  é um parâmetro de estrutura com um valor igual ou menos do que 0,0015 metros e que pode ser expresso como  $S = x \cdot \tau / \phi$ , o qual é uma expressão precisa para a estrutura na parte porosa da membrana, a porosidade  $\phi$  é superior a 50% e a tortuosidade  $\tau$  é menor do que 2,5, e em que a membrana possui uma permeabilidade à água maior do que  $1 \cdot 10^{-11}$  m/s Pa e uma permeabilidade ao sal menor do que  $3 \cdot 10^{-8}$  m/s.

A membrana é configurada de modo adequado para osmose retardada por pressão.

Tal como será apreciado, em média, pelo perito na técnica, o valor de  $S$  está relacionado com uma membrana húmida.

Quando se coloca uma quantidade de sal, que contém água, em contacto com o material não poroso ou película de difusão, a camada porosa da membrana ganha características relacionadas com um parâmetro  $B$  de permeabilidade ao sal (na película de difusão) definidas por:

$$B = (\phi \cdot D \cdot (dc/dx) / \tau - J \cdot c) \cdot 1/\Delta C, \quad \text{Equação (2)}$$

em que:

A é a permeabilidade à água

B é a permeabilidade ao sal (m/s)

$\Delta c_s$  é a diferença na concentração de sal sobre a película de difusão (moles/cm<sup>3</sup>),

$\phi$  é a porosidade,

x é a espessura da estrutura porosa (m),

J é o fluxo da água (m/s),

c é a concentração de sal (moles/cm<sup>3</sup>),

D é o coeficiente de difusão do sal (m<sup>2</sup>/s),

$\tau$  é a tortuosidade,

Em que a eficácia da membrana na osmose retardada por pressão para um determinado valor de uma permeabilidade à água, A (m/s Pa), pode ser expressa por uma integração da Equação (2) para se obter:

$$\Delta c_s / c_b = \exp(-d_s \cdot J/D) / \{ 1 + B \cdot [( \exp(d_f \cdot J/D + S \cdot J/D) - \exp(-d_s \cdot J/D) ) / J] \} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que:

$c_b$  É a concentração de sal água sal menos a concentração de sal em água doce (moles/cm<sup>3</sup>)

$d_f$  e  $d_s$  são a espessura das películas de difusão (polarização por concentração) no lado da água doce e lado de água salgada, respectivamente, da membrana ( $\mu$ -m),

$\Delta c_s / c_b$  expressa a eficácia das membranas em osmose retardada por pressão para um determinado valor de permeabilidade à água.

O valor do parâmetro de estrutura S e assim a estrutura interior da membrana é decisivo para a sua eficácia na osmose retardada por pressão. A estrutura deverá ter apenas uma camada fina e não porosa em que o sal possui uma

velocidade de difusão consideravelmente baixa comparativamente à água. As outras camadas devem todas ser porosas de modo a que o sal e água possam ser transportados com a menor resistência possível. Normalmente encontram-se presentes diversas camadas porosas para facultar à membrana as características mecânicas correctas e/ou como um resultado do método de produção. Nesses casos, em que a película de difusão assenta entre duas ou mais camadas porosas, ou a membrana é lateralmente reversa em relação à água doce e água salgada, as expressões serão mais complicadas, mas a discussão que se segue será na mesma considerada como válida.

O parâmetro de estrutura  $S$  deverá ter um valor de 0,0015 ou inferior. A espessura da membrana é inferior a 150  $\mu\text{m}$ , preferencialmente inferior a 100  $\mu\text{m}$ . O valor médio para porosidade,  $\phi$ , na camada porosa, na presente invenção, é superior a 50%. A membrana semipermeável possui uma tortuosidade,  $\tau$ , a qual é inferior a 2,5. A permeabilidade para o sal,  $B$ , é inferior a  $3 \cdot 10^{-8}$  m/s, e a permeabilidade à água,  $A$ , é superior a  $1 \cdot 10^{11}$  m/s Pa. A espessura da película de difusão no lado que contém menos sal e o lado que contém mais sal é inferior a 60  $\mu\text{m}$ , preferencialmente inferior a 30  $\mu\text{m}$ .

Os módulos de membrana, de acordo com a presente invenção, incluem disjuntores de fluxo que consistem em fios de polímeros, os quais formam uma rede com um padrão quadrado ou rômbo. Ainda algumas membranas são embaladas em conjunto para módulos (enroladas de modo a se obter membranas em espiral), em que a distância entre as membranas adjacentes é de 0,4 a 0,8 milímetros.

Não fazendo parte da presente invenção, mas, no entanto, útil para a sua compreensão, existe um método em que uma pressão elevada é facultada por osmose (a partir de gradientes de sal) num sistema com osmose retardada por pressão através de uma ou mais membranas semipermeáveis, as quais são construídas em diversas camadas, em que pelo menos uma parte da pressão osmótica é mantida no sistema. O método inclui o contacto com um sal que contém uma corrente de alimentação com uma camada não porosa (a película de difusão) numa ou mais membranas semipermeáveis; em que, ao mesmo tempo, uma fonte de alimentação que contém menos sal é colocada em contacto com o outro lado da película de difusão e onde uma camada porosa adjacente (a camada porosa) em uma ou mais das camadas semipermeáveis possui uma estrutura em que a porosidade  $\phi$ , a espessura  $x(m)$ , e a tortuosidade  $\tau$ , estão relacionadas umas com as outras tal como indicado pela expressão

$$x \cdot \tau = \phi \cdot S$$

Em que  $S$  é um parâmetro de estrutura, o qual é igual ou inferior a 0,0015 metros, onde a água ( $H_2O$ ) da corrente que contém menos sal é naturalmente conduzida através da membrana semipermeável por elevada pressão osmótica hidráulica no lado permeável.

No método descrito, pelo menos uma parte da pressão osmótica potencial entre as duas correntes de água é hidráulica, transferida directamente para o sal recebido que contém uma fonte de alimentação. A quantidade de sal que contém uma fonte de alimentação é 1 - 3 vezes mais elevado que a quantidade da corrente de alimentação que contém menos sal, de modo a que a proporção entre o comprimento de uma via de corrente de alimentação que

contém sal e a que contém menos sal é de 0,3 a 1,0. A distância entre as membranas adjacentes é de 0,4 a 0,8 mm.

Nos módulos espirais, os canais para o sal que contém corrente de alimentação são 10-50% cheios com um ou mais dos dispositivos de interrupção de fluxo que consistem em fio de polímero os quais formam uma rede com padrão quadrado ou rômbo.

A pressão no sal que contém fonte de alimentação na membrana/ módulos de membrana situa-se na ordem de 6 a 16 bares ((6-16)  $\times 10^5$  Pa).

Como uma alternativa às membranas em espiral, podem se colocadas fibras paralelas em camadas entre correntes sucessivas de uma corrente de alimentação que contenha menos sal e um sal que contenha fonte de alimentação. O acima mencionado será depois ligeiramente alterado, mas a pressão manter-se-á a mesma.

A invenção refere-se ainda a uma central para facultar energia eléctrica através da utilização de elevada pressão osmótica hidráulica tal como descrito na reivindicação 12. A central inclui uma ou mais membranas semipermeáveis ou módulos de membranas em que as membranas incluem uma camada fina de material não poroso que actua como a película de difusão, e, pelo menos uma camada de um material poroso com uma estrutura definida na reivindicação 12, e pelo menos uma turbina com um gerador eléctrico. A invenção inclui preferencialmente uma forma de troca de pressão para efeitos de transmissão hidráulica directa de uma pressão osmótica de pressão elevada ramificada a partir de saída da membrana para uma entrada da mesma.

A central pode ser colocada no solo, ou abaixo da superfície da terra a um nível não inferior a 200 metros.



A osmose retardada por pressão é como todos os processos osmóticos baseados num transporte de massa selectivo através de membranas. Uma câmara com água doce é separada da câmara com água do mar por uma membrana semipermeável. Esta membrana permite o transporte de água, mas não de sal.

Tanto a água como o sal irão difundir de uma concentração alta para uma concentração baixa, mas a membrana evita o transporte de sal. O resultado é um transporte de água bruto do lado da água doce para o lado da água do mar e a pressão é aumentada no lado da água do mar. Deste modo, o transporte de água osmótica é retardado pelo aumento da pressão. A água que foi transportada para o lado da água do mar encontra-se aí a uma pressão mais elevada e pode ser extraído trabalho se a água for deixada fluir para o exterior através de uma turbina. Desta forma, a energia livre ao se misturar com água doce e água do mar pode ser convertida em trabalho.

Se a água doce fluir no sentido da água do mar sem que haja fluxo para o exterior, a pressão será aumentada. Finalmente, a pressão sobre o lado da água do mar será tão elevado que o transporte da água será interrompido. Tal situação acontece quando a diferença na pressão é igual à pressão osmótica da água do mar considerando a equação de van't Hoff:

$$P_{osmotic} = 2RTC_{NaCl} \quad \text{Equação (4)}$$

Aqui R é a constante de gás e T é a temperatura absoluta. Para uma solução de 35 g/l NaCl, a equação (4) apresenta uma pressão osmótica teórica de 29 bares ( $2,9 \times 10^6$  Pa) a 20°C. Isto corresponde a uma coluna de água de

296 metros. Se uma mole de água (0,018 kg) for içada a 296 metros, terá que se efectuar um trabalho de 52,2 J.

Numa central eléctrica baseada numa osmose retardada por pressão, a água doce, sendo alimentada pelo lado de baixa pressão, é transportada por osmose através da membrana semipermeável para o lado de alta pressão. Do lado de alta pressão, a água é libertada por pressão através de uma turbina, a qual gera energia mecânica. Para se manter uma concentração de sal elevada no lado da água do mar, tem que ser bombeada contra a pressão de trabalho. A energia bruta é produzida porque o volume da corrente que é expandida (água doce + água do mar) é maior do que o volume da corrente que é comprimida. Alguma da água doce deixa a central pelo lado de baixa pressão e faculto o transporte de contaminações para longe da água doce e possível sal, o qual terá sido vertido do lado de alta pressão.

Outro plano possível para uma central eléctrica para osmose retardada por pressão é a construção de uma central oculta 0-200m, adequadamente 50-100m, mais preferencialmente 120 m abaixo do nível do solo. Neste caso, a água doce é passada através de condutas descendentes, no sentido das turbinas e a partir daqui para o lado de baixa pressão das membranas. A água do mar é passada para o lado de alta pressão das membranas que foram pressurizadas por energia hidrostática, e a água do mar pode circular através do lado de alta pressão sendo a fricção a única perda. A água doce será transportada através da membrana conduzida pela energia osmótica e deixa a central misturada com água do mar. As membranas podem ser posicionadas como módulos baseados na terra construídos abaixo do nível do solo conjuntamente com as turbinas e

outro equipamento. Se o mar se encontrar mais profundo comparativamente à escavação, os módulos da membrana podem ser colocadas directamente no mar.

A película da membrana pode possivelmente ser localizada ou encostada à água do mar ou à água doce. Localizar a película de difusão no lado da água doce terá a vantagem de que as contaminações na água doce serão mais prontamente rejeitadas na superfície da membrana uma vez que a película de difusão possui indubitavelmente poros mais pequenos comparativamente ao condutor poroso. Considerando que existe um volume bruto de corrente que se move no sentido da membrana do lado da água doce, este volume de corrente terá capacidade de transportar diferentes tipos de impurezas que podem originar a incrustação da membrana. Por outro lado, um corrente de água contínua da membrana no lado da água irá contribuir para manter limpa a superfície da membrana.

Considerando que toda a diferença de pressão no processo presente assenta no material não poroso (a película de difusão), pode ser vantajoso a película de difusão assentar no lado da água do mar uma vez que a pressão em excesso irá pressionar a película de difusão contra o condutor. Com a película de difusão no lado da água doce, existe um risco de a película de difusão se desprender do do condutor e a membrana pode ser destruída.

Para além disso, os parâmetros para a permeabilidade à água,  $A$ , e a permeabilidade ao sal,  $B$ , são de grande importância para o desempenho da membrana.

Para uma membrana que não tenha nenhuma fuga de sal, a espessura, porosidade e tortuosidade do condutor não terão grande importância para a produção de energia.

Parece haver uma dependência considerável na espessura da película devido à polarização por concentração no lado da água do mar isoladamente, uma vez que a polarização por concentração do lado da água doce é completamente insignificante para uma membrana com uma pequena fuga de sal.

A espessura desta película de difusão é um tamanho crítico para a produção de energia por meio de osmose retardada por pressão. Este tamanho tem que ser determinado de modo experimental pelos ensaios de transporte onde os dados de fluxo são adaptados ao modelo actual. Os cálculos teóricos com um modelo de transporte mais complexo indicam uma espessura da película de difusão de aproximadamente 0,000025m.

A espessura da película de difusão sobre a superfície da membrana relativamente ao lado da água do mar pode ser reduzida ao se aumentar a velocidade do fluxo no lado da água do mar e por meio da utilização de dispositivos que aumentam a agitação do fluxo da água do mar (promotores de turbulência). Estes esforços irão aumentar a perda por fricção durante o fluxo da água do mar, e existirá um ponto ideal relativamente à proporção da água do mar através de um módulo de membrana e da forma do módulo da membrana.

Tal como acima mencionado, a polarização por concentração do sal será um problema menor do lado da água doce num bom módulo de membrana. Esta é uma grande vantagem considerando que a proporção de água doce tem que ser baixa em partes de um bom dispositivo assim como a maior parte da água doce deve ser transportada através da membrana e acima da água do mar.

Por osmose retardada por pressão, os membros de perda mais importantes estarão em contacto ao se pressurizar a água do mar, bombear a água através de módulo de membrana e perda por conversão da energia de pressão em água para energia eléctrica por meio de turbina ou gerador.

Devido à perda por fricção, irá desenvolver-se uma quebra de pressão sobre o módulo de membrana. A água deverá ser bombeada através de um canal estreito, que é fornecido por uma rede de distância para que se mantenha a largura necessária do canal, e que ao mesmo tempo, pode promover a mistura da fase aquosa. Deste modo, a espessura da película de difusão pode ser reduzida e a eficácia no processo PRO pode ser otimizada.

Nos processos PRO com um bom módulo de membrana, a polarização por concentração será apenas uma questão essencial no lado da água do mar, uma vez que a concentração de sal no lado da água doce apresenta apenas um aumento reduzido. Além disso, a proporção do lado da água do mar será maior que no lado da água doce, pois a água doce é transportada para a água do mar, e também porque existe um desejo de manter a concentração de sal o mais elevada possível na água do mar. Este último processo é conseguido com um fluxo elevado de água salgada, sendo que o lucro de uma elevada proporção de água salgada deve ser considerado em termos de despesas. A proporção de água salgada pode ser aumentada ao se reciclar a água salgada.

Num processo que se pode utilizar com a presente invenção, a água do mar é pressurizada antes de fluir através do módulo de membrana. Posteriormente, a água do mar juntamente com a água doce, a qual foi transportada através da membrana, irá expandir-se através de uma

turbina. A bomba assim como a turbina terão uma eficácia de menos que 1, e a energia irá conseqüentemente ser perdida nestas operações unitárias.

Para se reduzir a perda quando se tem que comprimir primeiro grandes quantidades de água do mar, e depois expandir as mesmas através de uma turbina, pode ser utilizada a troca de pressão. Na troca de pressão, a pressão na água do mar que sai é utilizada para comprimir a água do mar que entra. Apenas uma quantidade de água que corresponde à água doce que flui através da membrana passará através da turbina, pelo que pode ser utilizada uma turbina bastante menor para este efeito. A bomba de pressão elevada para pressurizar a água do mar é completamente eliminada.

A Figura 1 descreve uma central PRO em que a água doce, assim como a água do mar, são alimentadas em filtros de água separados antes que as correntes passem uma pela outra em cada lado de uma membrana semipermeável. Uma porção da mistura de água permeada e salgada com pressão elevada é passada para uma turbina para efeitos de produção de energia eléctrica. O saldo da corrente de permeação é passado para um permutador de pressão onde a água que entra é pressurizada. A água do mar pressurizada é depois alimentada para o módulo de membrana.

A Figura 2 apresenta o modelo de corrente para uma corrente cruzada num módulo em espiral.

A Figura 3 apresenta as linhas da corrente num módulo em espiral.

A Figura 4 apresenta a construção da estrutura interior de uma membrana, uma camada não porosa, denominada película de difusão e uma camada porosa.

A Figura 5 apresenta a relação entre pressão num lado da membrana, a qual se encontra em contacto com uma quantidade de água contendo sal (o lado da água do mar) e fluxo osmótico. A Figura 5 apresenta os valores  $S$ , os quais são aceitáveis para produção de energia económica quando  $A$  é  $10^{-11}$  m/s Pa e  $B$  é  $3 \cdot 10^8$  m/s. Este ou valores mais altos de  $A$  são considerados necessários. Consequentemente  $S$  tem que ter um valor de 0,001m ou menos. As medidas laboratoriais têm mostrado que as membranas pretendidas para osmose reversa, que proporciona o melhor desenvolvimento na osmose retardada por pressão, possuem valores  $S$  à volta de 0,0003m. Isto significa que  $S$  tem que ser melhorado com um factor de 3 ou melhor no que respeita a estas membranas. Valores inferiores de  $B$  irão, de certo modo, modificar a necessidade de  $S$ .

A Figura 6 apresenta o efeito como função de pressão no lado da água do mar para um processo com condições tais como as apresentadas no Quadro 2. A Figura 7 apresenta relações de concentrações ao longo da membrana para PRO em condições, tal como as apresentadas no Quadro 2 (as concentrações de sal no lado da água doce são dificilmente visíveis).

A Figura 8 apresenta o volume de fluxo de água através da membrana para um processo com as condições apresentadas no Quadro 2.

Os valores necessários para permeabilidade do sal,  $S$ , permeabilidade da água,  $A$ , parâmetro de estrutura,  $S$ , e espessura das películas de difusão serão igualmente aplicados às possíveis membranas de fibra. Uma figura principal para membranas de fibra será como para as

espirais com a exceção do que diz respeito à utilização redes de distância para interrupção do fluxo.

Exemplos de produção de energia:

A zona de mistura para água salgada e água doce pode ser considerada como adiabática, isto é, não existe troca de calor ( $dq=0$ ) com as zonas circundantes. Considerando que a entalpia de mistura é de aproximadamente zero e o trabalho ( $dw$ ), mas não calor, é extraído da mistura, a entalpia de mistura é obtida a partir da lei de conservação de energia:

$$dE = c_p dT = dq + dw = dw \quad \text{Equação (5)}$$

Em que  $dE$  é a mudança na energia interior do sistema total e  $c_p$  é a capacidade de aquecimento do sistema.

A extração do trabalho irá, de acordo com a equação (5), gerar um determinado grau de arrefecimento. Se um mole de água doce com 52,5 J/mole é reversivelmente misturado com três moles de água salgada, a água salgada diluída será arrefecida com 0,17°C. Num processo real otimizado para produção de energia por unidade de mistura, metade do trabalho reversível será ignorado. Esta situação leva a um arrefecimento da mistura de menos do que 0,1°C.

Tal como acima mencionado, apenas 50% da energia livre de mistura possível será utilizada num dispositivo prático para maximizar a produção de energia. Além disso, a energia será perdida pelo funcionamento do processo. Partindo do pressuposto que 20% da energia, a qual é produzida na unidade de mistura, é perdida no processo (perda devido a fricção, operação de bombas, turbinas, etc), podem produzir-se cerca de 20 J por mole de água doce que passa através do processo. Esta situação causa uma produção de



energia para alguns locais com base na média de fluxo de transporte de água de acordo com a presente invenção, tal como ilustrado pelo Quadro 1.

Quadro 1

Exemplos de possíveis centrais de energia com base na média de fluxo de água		
Exemplo de rios	Fluxo de água (m <sup>3</sup> /s)	Produção de energia (MW)
Pequeno rio local	10	10
Namsen (Noruega)	290	300
Glomma (Noruega)	720	750
Reno (Alemanha)	2 200	2 400
Mississippi (EUA)	18 000	19 000

Exemplos de variáveis operacionais:

Para calcular o transporte de água e sal através da membrana assim como a produção de energia por unidade de área da membrana, é necessário ter valores reais dos diferentes parâmetros que descrevem a membrana actual, a forma do módulo de membrana, parâmetros que descrevem as condições do processo assim como dados físicos. Os parâmetros necessários para estes cálculos encontram-se resumidos no Quadro 2.

Todos os cálculos que se seguem são executados com base numa área de membrana de 1 m<sup>2</sup>. E porque os fluxos de água e de sal através da membrana são, na maioria dos casos

significativos relativamente às proporções de água salgada e água doce recebidas, as concentrações e, por conseguinte, também os fluxos através da membrana, irão variar ao longo da membrana. Para que tal seja permitido, a membrana é dividida em 20 células de tamanho igual para efeitos de cálculo. As concentrações e proporções de água salgada e água fresca, respectivamente, para a primeira célula, e a pressão da água do mar na membrana, são obtidas por meio de condições de entrada, vide, Quadro 2. Os fluxos de água e sal para estas condições são depois calculados iterativamente de célula para célula por meio das equações necessárias.

A proporção de água salgada,  $Q$ , a partir da última célula, define a proporção do processo. A diferença entre taxa de saída e taxa de entrada para água salgada e a pressão no lado da água salgada indica o trabalho produzido. A proporção da taxa de exploração de água doce é indicada pela diferença existente entre a taxa de entrada e de saída de água doce relativamente à taxa de entrada de água doce.

Quadro 2

Parâmetros necessários para cálculos modelo de osmose retardada por pressão			
Símbolo	Unidade	Valor Exemplo	Parâmetro
A	m/Pa s	$10^{-11}$	Permeabilidade à água na membrana
B	m/s	$10^{-8}$	Permeabilidade ao sal através da membrana
X	m	0,0005	Espessura da estrutura porosa
$\phi$		0,5	Porosidade na camada porosa

$\tau$		1,5	Tortuosidade na camada porosa
$d_{sjo}$	m	0,00005	Espessura da película de difusão no lado da água do mar
$d_f$	m	0,00005	Espessura da película de difusão no lado da água doce
T	°C	3	Temperatura (da água) do processo
$P_{sjo}$	Pa	$13 \cdot 10^5$	Pressão no lado da água do mar
$c_{sjo}^{in}$	mol/m <sup>3</sup>	549	Concentração recebida de sal em água salgada
$c_f$	mol/m <sup>3</sup>	0	Concentração recebida de sal em água doce
$Q_{inn}$	m <sup>3</sup> /s	$9 \cdot 10^{-6}$	Proporção de volume de água doce na membrana
F		3	Proporção de alimentação entre água salgada e água doce
$D_s$	m <sup>2</sup> /s	$7,5 \cdot 10^{-10}$	Coefficiente de difusão para o sal (NaCl)
S	m	<0,0015	Parâmetro da estrutura

Para cada grupo de parâmetros, os fluxos e proporções são calculados como abaixo indicado. Para determinar a pressão ideal de água do mar, a pressão da água do mar é sempre variada com outras constantes de condição.

Nos cálculos, a perda de pressão através do módulo da membrana deve-se ao facto da resistência do fluxo não ter sido considerada. Não se considerou igualmente a eficácia da bomba que pressuriza a água do mar nem a turbina que produz a energia do processo. O trabalho produzido, tal como apresentado, é, por conseguinte, relacionado com a produção de energia durante o processo de mistura o qual

não é igual ao trabalho real que pode ser extraído de um processo real. Estas dimensões têm que ser calculadas para as centrais em questão.

O coeficiente de difusão para o sal aumenta aproximadamente para 80% quando a temperatura aumenta de 3 para 20°C, mas não altera muito com a concentração do sal. O coeficiente de difusão a 0,1 moles/l é, deste modo, utilizado em todos os cálculos. Como exemplo de cálculos, foi considerado um ponto base nos valores de parâmetros conservadores indicados na tabela 2. Nestas condições, a membrana produz 2,74W/m<sup>2</sup>, e 23% da água doce que é fornecida para a membrana e que é transportada para o lado da água do mar. A Figura 6 apresenta o efeito, por unidade de área, da membrana como função da pressão no lado da água do mar. Tal como apresentado na figura, o efeito possui uma área ideal relativamente lisa entre 13 a 18 bares. Ao se seleccionarem valores ligeiramente mais favoráveis para a espessura da membrana, espessura da película e temperatura, a produção de energia pode facilmente ser superior a 5W/m<sup>2</sup>.

As concentrações sobre a membrana do lado de entrada e de saída são apresentadas na figura 7 para uma pressão de água do mar de 13 bares ( $1,3 \times 10^6$  Pa). E porque a fuga de sal através desta membrana é pequena neste exemplo, o aumento da concentração de sal no lado da água doce é dificilmente notada e atinge uma concentração de descarga de 0,5 moles/m<sup>3</sup>. Correspondentemente, a polarização por concentração no lado da água doce pode ser completamente negligenciada.

Por outro lado, a polarização por concentração no lado da água do mar é considerável e proporciona uma queda na concentração mesmo abaixo de 100 moles/m<sup>3</sup>.

Correspondentemente, existe uma quebra de concentração de quase 150 moles/m<sup>3</sup> sobre o condutor. A diferença de condução de concentração sobre a película da membrana corresponde à diferença de concentração entre a superfície da película relativamente à água do mar e ao lado da camada porosa adjacente, a qual enfrenta a água do mar, *vide* figura 7, e quantidades de aproximadamente 320 moles/m<sup>3</sup>, ou raramente 60% da diferença de concentração entre a água do mar e a água doce. Este facto ilustra a importância de reduzir o efeito de polarização. Tal é obtido ao se minimizar a espessura da película de difusão no lado da água do mar (fluxo de velocidade elevado e boa agitação) e a espessura do condutor.

A Figura 8 apresenta o volume de fluxo de água através da membrana como uma função de posição sem dimensão a partir do lado de entrada. Tal como a figura mostra, o fluxo de água muda relativamente pouco e a razão para tal é que a diferença de condução da concentração é também relativamente constante ao longo da membrana, *vide* figura 7.

**REFERÊNCIAS CITADAS NA DESCRIÇÃO**

Esta lista das referências citadas pelo requerente serve apenas para conveniência do leitor. Esta lista não faz parte do documento da patente europeia. Apesar da compilação cuidadosa das referências, os erros ou as omissões não podem ser excluídos e o EPO rejeita toda a responsabilidade a este respeito.

Documentos de patente citados na descrição:

US 4283913 A [0002]

US 4193267 A [0003]

US 3978344 A [0004]

US 3906250 A [0004] [0005]

EP 0882493 A2 [0006]

Outra literatura que não de patente citada na descrição

Lee et al. Membranes for Power Generation by Pressure

Retarded Osmosis. Journal of Membrane Science,

1981, vol. 8,141-171 [0007]

Renewable Energy. 1993 [0009]

## REIVINDICAÇÕES

1. Utilização de uma membrana semipermeável em osmose retardada por pressão para criar energia eléctrica numa central de energia através da utilização de elevada pressão osmótica hidráulica criada pela referida osmose retardada por pressão para accionar pelo menos uma turbina; consistindo a referida membrana numa camada fina de material não poroso e que actua como película de difusão e, pelo menos, uma camada de um material poroso **caracterizada pelo facto** desse material poroso possuir uma estrutura onde a porosidade  $\phi$ , espessura  $X(m)$  e tortuosidade  $\tau$  se situam relativamente umas às outras tal como apresentado em

$$x \cdot \tau = \phi \cdot S \text{ Equação (1)}$$

em que  $S$  é um parâmetro de estrutura com um valor de 0,0015 metros ou menos, porosidade  $\phi$  acima de 50% e tortuosidade  $\tau$  menor que 2,5 e em que a membrana possui uma permeabilidade à água de mais do que  $1 \cdot 10^{-11}$  m/s. Pa e uma permeabilidade ao sal de menos do que  $3 \cdot 10^{-8}$  m/s.

2. Utilização, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo facto** dessa referida membrana possuir uma espessura de menos do que 150  $\mu m$ .
3. Utilização, de acordo com a reivindicação 2, em que a referida membrana possui uma espessura de menos do que 100  $\mu m$ .
4. Utilização, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 3, **caracterizada pelo facto** da referida membrana incluir diversas membranas e entre as membranas incluir interruptores de fluxo que consistem em fios de

polímeros que formam uma rede com padrão quadrado ou rômbo.

5. Utilização, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 4, **caracterizada pelo facto** de várias das referidas membranas serem montadas em conjunto, em camadas para formar módulos em que a distância entre membranas adjacentes é de 0,4 a 0,8 mm.
6. Utilização, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 5, **caracterizada pelo facto** da referida membrana ter a forma de fibras ocas com um diâmetro exterior de 0,05 a 0,5 mm.
7. Utilização, de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 6, que inclui o contacto com uma primeira corrente de alimentação de água que contém sal com um material não poroso ou a película de difusão da referida membrana, em que simultaneamente uma segunda corrente de alimentação de água que contém menos sal é colocada em contacto com uma camada porosa da referida membrana; em que a água proveniente da corrente que possui menos sal é naturalmente conduzida através da referida membrana por meio de osmose e cria uma elevada pressão osmótica hidráulica no lado permeado, de modo a que, pelo menos, parte da pressão osmótica potencial sobre a membrana seja directamente transferida por via hidráulica para uma corrente de alimentação contendo sal.
8. Utilização, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizada pelo facto** de a quantidade da corrente eléctrica contendo sal ser de 1 a 3 vezes superior relativamente à quantidade da corrente de alimentação que contém menos sal.



9. Utilização, de acordo com a reivindicação 7 ou reivindicação 8, **caracterizada pelo facto** de mais do que uma das referidas membranas serem utilizadas e a chacela da corrente que contém sal entre as referidas membranas incluir interruptores de fluxo que consistem em fios de polímero que formam uma rede com padrão quadrado ou rômbo, que enche o canal 10-50%.
10. Utilização, de acordo com qualquer das reivindicações 7-9, **caracterizada pelo facto** de que a proporção entre o comprimento de uma via de fluxo da corrente que contém sal e a corrente que contém menos sal ser de 0,3 a 1,0.
11. Utilização, de acordo com qualquer das reivindicações 7-10, **caracterizada pelo facto** de que a pressão da corrente de alimentação que contém sal que flui para as referidas membranas ou módulos de membrana se encontrar na proporção de 6-16 bares.
12. Central para proporcionar energia eléctrica através da utilização de elevada pressão osmótica hidráulica criada por osmose retardada por pressão, caracterizada pelo facto de a central incluir, pelo menos, uma membrana semipermeável que consiste de uma camada fina de um material não poroso que actua como película de difusão e, pelo menos, uma camada de um material poroso, **caracterizada pelo facto** da camada porosa possuir uma estrutura em que a porosidade  $\phi$ , espessura  $X(m)$  e tortuosidade  $\tau$  apresentam uma relação entre si representada pela equação

$$x \cdot \tau = \phi \cdot S \quad \text{Equação (1)}$$

em que  $S$  é um parâmetro de estrutura com um valor de 0,0015 metros ou menos, a porosidade  $\phi$  está acima de

50% e a tortuosidade  $\tau$  ser menor que 2,5 e em que a membrana possui uma permeabilidade à água de mais do que  $1 \cdot 10^{-11}$  m/s. Pa e uma permeabilidade ao sal de menos do que  $3 \cdot 10^8$  m/s; e, pelo menos, uma turbina.

13. Central, de acordo com a reivindicação 12, em que a turbina se situa a jusante de uma saída da referida membrana, e a qual inclui ainda uma forma de troca de pressão para efeitos de transmissão hidráulica directa de uma pressão osmótica de pressão elevada ramificada a partir de uma saída da dita membrana para uma entrada da mesma.
14. Central, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizada pelo facto** de, pelo menos, uma turbina fornecedora de energia estar localizada a jusante de uma localização onde a transferência de pressão é ramificada a partir da saída.
15. Central, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizada pelo facto** da central se encontrar localizada 80-200 m abaixo do nível do solo; por a água doce passar através de condutas descendentes até à pelo menos uma turbina a qual se encontra localizada a montante da entrada de água doce da referida membrana; por a água doce passar ainda da turbina para um lado de pressão baixa da referida membrana; por a água do mar passar para um lado de pressão alta da referida membrana; sendo que esta água salgada foi pressurizada por energia hidrostática; por a água do mar ser deixada circular através desse lado de pressão alta da referida membrana; por a água doce ser transportada através da referida membrana por energia osmótica; e por a água

que sai da central ser a água doce misturada com água do mar.

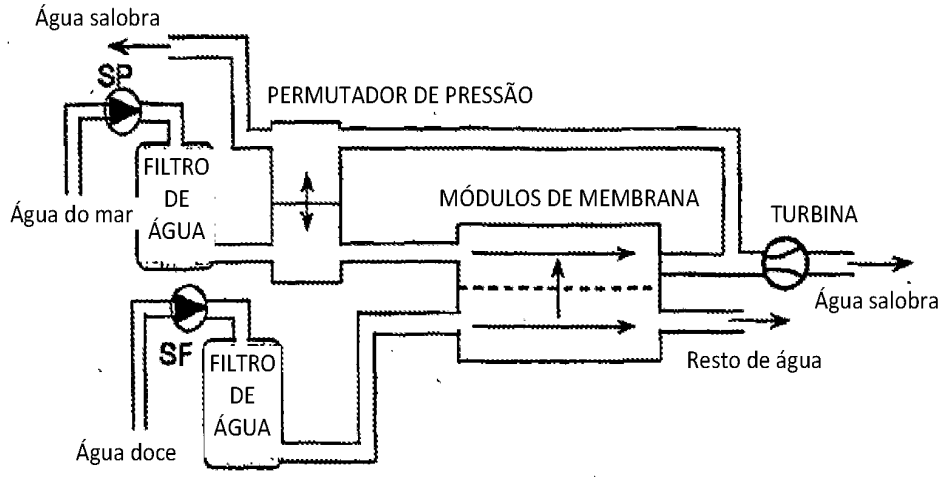


Figura 1

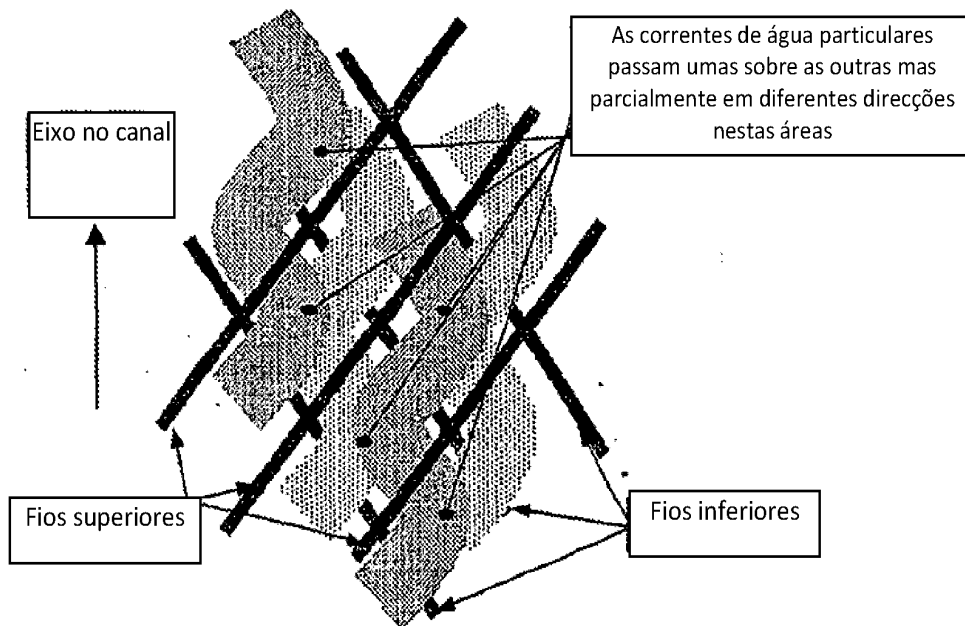


Figura 2

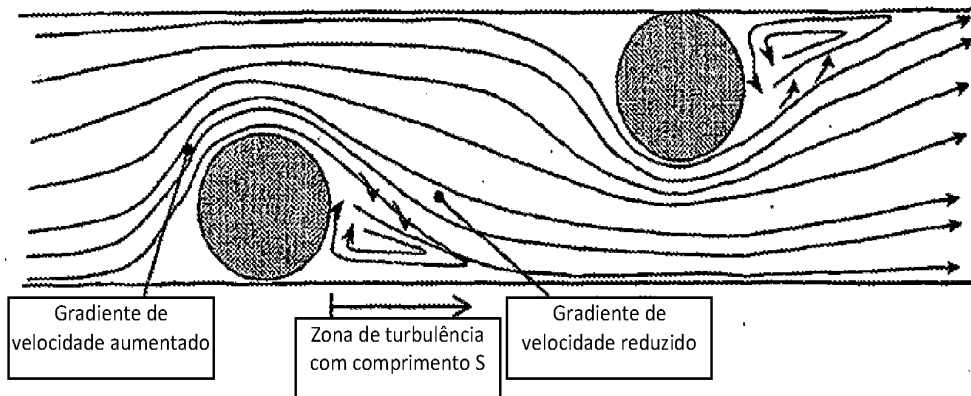


Figura 3

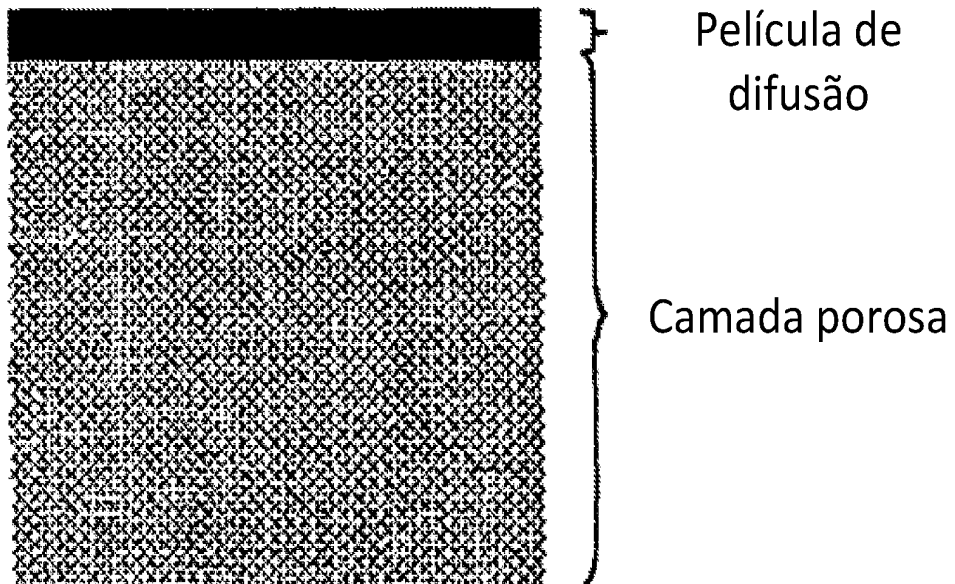


Figura 4

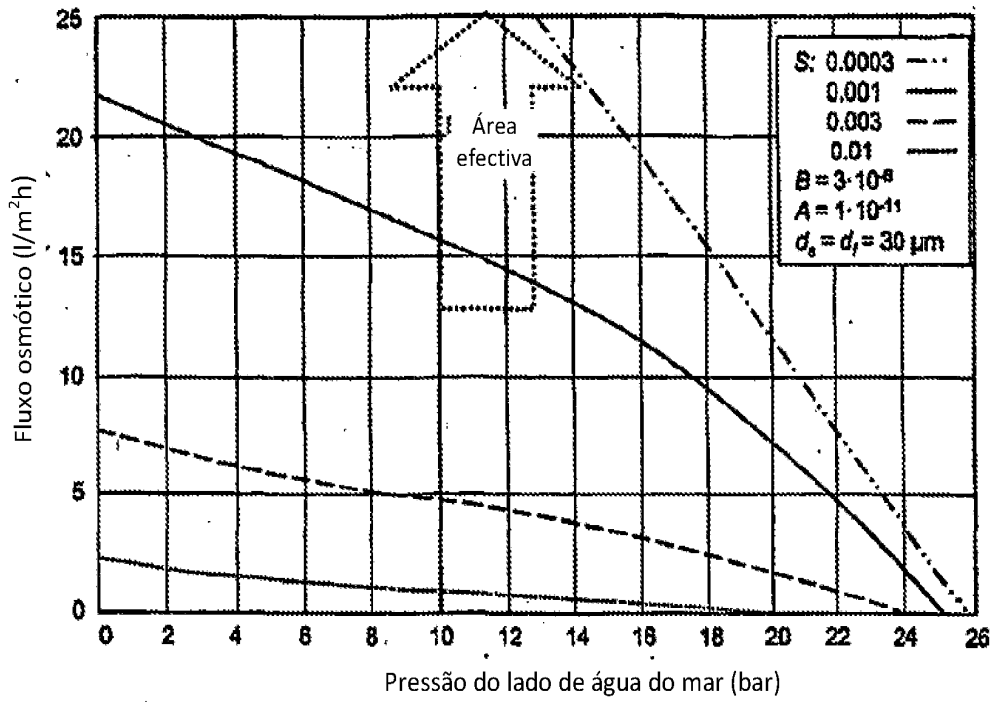


Figura 5

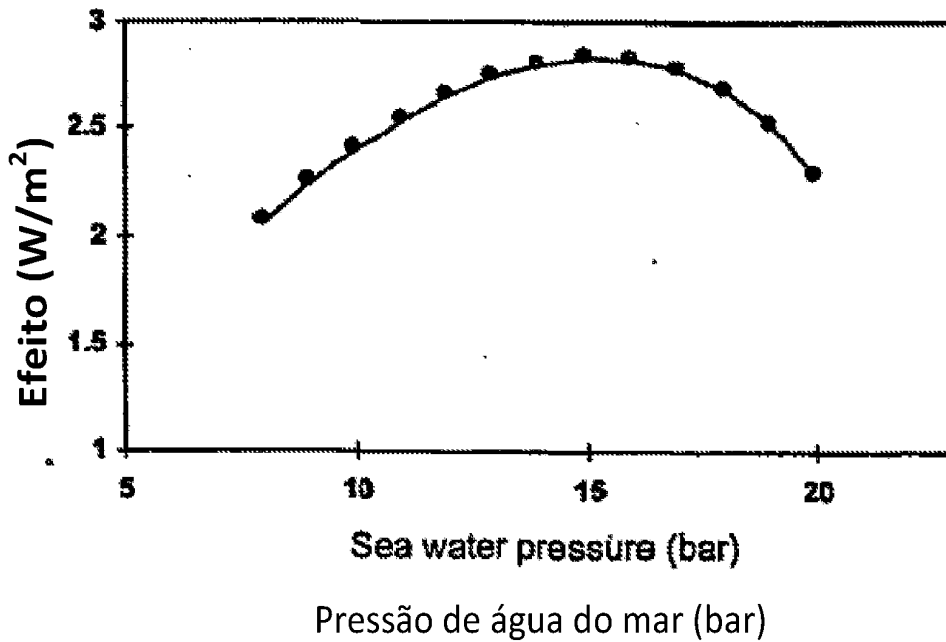


Figure 6

Figura 6

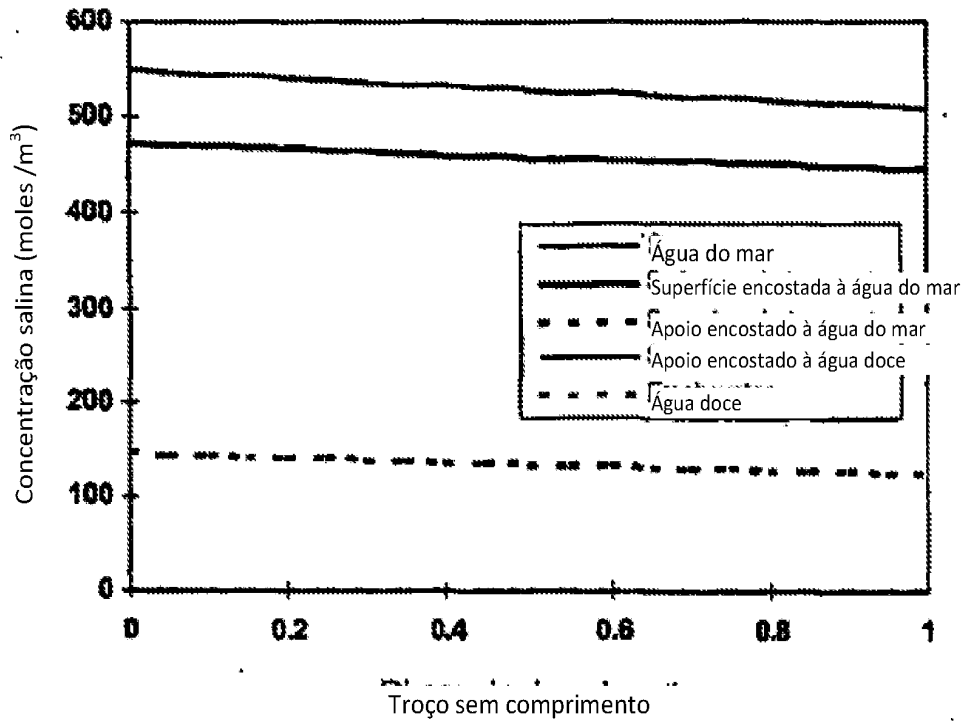


Figura 7

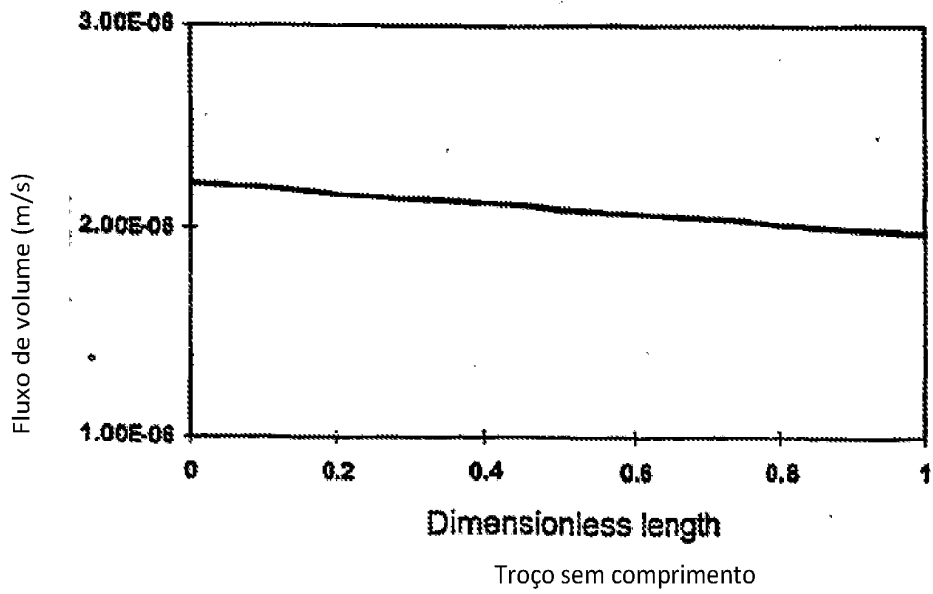


Figure 8

Figura 8