

(12) PEDIDO INTERNACIONAL PUBLICADO SOB O TRATADO DE COOPERAÇÃO EM MATÉRIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organização Mundial da Propriedade Intelectual

Secretaria Internacional



(43) Data de Publicação Internacional
25 de Agosto de 2011 (25.08.2011)

PCT

(10) Número de Publicação Internacional
WO 2011/102746 A2

- (51) **Classificação Internacional de Patentes :** Sem classificação
- (21) **Número do Pedido Internacional :** PCT/PT2011/000003
- (22) **Data do Depósito Internacional :** 15 de Fevereiro de 2011 (15.02.2011)
- (25) **Língua de Depósito Internacional :** Português
- (26) **Língua de Publicação :** Português
- (30) **Dados Relativos à Prioridade :** 104972 19 de Fevereiro de 2010 (19.02.2010) PT
- (71) **Requerente (para todos os Estados designados, exceto US) :** KYMANER-TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS, LDA [PT/PT]; Campus do Lumiar - Edifício D, sala 1026, P-1649-038 Lisboa (PT).
- (72) **Inventores; e**
- (75) **Inventores/Requerentes (para US unicamente) :** FRANCO DE OLIVEIRA FALCÃO, António [PT/PT]; Alameda Santo António dos Capuchos, No. 4-2º Esq., P-1150-314 Lisboa (PT). DE CARVALHO GATO, Luís Manuel [PT/PT]; Casal de Santa Filomena, Rua Alto da Bonita, 13, P-2710-186 (PT).
- (74) **Mandatário :** PEREIRA DA CRUZ, João; J. Pereira da Cruz, S.A., Rua Vitor Cordon, 14, P-1249-103 Lisboa (PT).
- (81) **Estados Designados (sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção nacional existentes) :** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Estados Designados (sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção regional existentes) :** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasiático (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), Europeu (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Declarações sob a Regra 4.17 :**
- *relativa à autoria da invenção (Regra 4.17(iv))*
- Publicado:**
- *sem relatório de pesquisa internacional; será republicado após receção do mesmo (Regra 48.2(g))*

(54) **Title :** TURBINE WITH RADIAL INLET AND OUTLET ROTOR FOR USE IN BIDIRECTIONAL FLOWS

(54) **Título :** TURBINA COM ROTOR DE ENTRADA E SAÍDA RADIAIS PARA APLICAÇÕES EM ESCOAMENTOS BIDIRECCIONAIS

(57) **Abstract :** The present invention describes a turbine for extracting energy from an alternating bidirectional flow, as is the case in ocean wave energy conversion systems. The turbine has a blade rotor with two peripheral openings through which fluid is alternatively admitted and discharged, as a radial centripetal flow when admitted and as a radial centrifugal flow when discharged. Two embodiments of the stator are possible, to promote the deflection of the flow as it nears the rotor, creating a circumferential speed component of flow oriented in the same direction as the normal direction of rotation of the rotor, with the aim in both cases of minimising discharge flow turbulences. In one embodiment, the guide blades are arranged near the rotor and move axially depending on the direction of flow so as to guide the inflow and not hinder the discharge flow. In another embodiment, the guide blades are axially fixed and arranged at a distance from the rotor in the radial direction.

(57) **Resumo :** O presente invento descreve uma turbina para extrair energia de um escoamento bidireccional alternado, como é o caso de sistemas de conversão de energia das ondas marítimas. A turbina tem um rotor de pás com duas aberturas na sua periferia em cada uma das quais se dá alternadamente entrada e saída de fluido, sendo radial centrípeto o escoamento à entrada e radial centrífugo o escoamento à saída. O estator admite duas configurações que promovem a deflexão do escoamento de aproximação ao rotor com criação duma componente circunferencial de velocidade do fluido com o mesmo sentido que o da rotação normal do rotor, procurando em ambos os casos minimizar a perturbação do escoamento de saída. Numa das configurações, as pás de guiamento estão próximas do rotor e deslocam-se axialmente conforme o sentido do escoamento, de modo a guiarem o escoamento de entrada e não interceptarem o escoamento de saída. Na outra configuração, as pás de guiamento estão fixas axialmente e estão radialmente afastadas do rotor.



WO 2011/102746 A2

- 1 -

DESCRIÇÃO

"TURBINA COM ROTOR DE ENTRADA E SAÍDA RADIAIS PARA APLICAÇÕES EM ESCOAMENTOS BIDIRECCIONAIS"

O presente invento refere-se a uma turbina destinada a extrair energia de escoamentos bidireccionais, como é o caso dos que ocorrem em sistemas de aproveitamento da energia das ondas marítimas.

A técnica anterior:

Nos últimos tempos, têm sido propostos variados sistemas para extrair energia das ondas marítimas. Estes sistemas têm atingido graus de desenvolvimento e de sucesso diversos.

Uma importante classe de sistemas caracteriza-se pela existência duma estrutura, fixa ou oscilante, aberta para o mar na sua parte submersa. Por acção das ondas, no interior dessa estrutura e em relação a ela, desloca-se em movimento alternado uma coluna de água. Esse movimento relativo e as forças a ele associadas podem ser convertidos em energia útil por uma turbina. Nalguns sistemas, conhecidos por sistemas de coluna de água oscilante, existe uma interface ar-água na parte superior da coluna de água cujo movimento oscilatório alternadamente comprime e descomprime o ar, o que permite accionar uma turbina de ar.

- 2 -

É ainda possível efectuar a conversão de energia por meio de uma turbina hidráulica inserida na própria coluna de água oscilante ou junto a uma das suas extremidades. A turbina (de ar ou de água) acciona directa ou indirectamente um gerador eléctrico, se a finalidade for a produção de energia eléctrica.

Como o movimento da superfície do mar muda periodicamente de sentido com o ciclo das ondas, a turbina fica sujeita a um escoamento bidireccional e deverá ser auto-rectificadora, a não ser que exista um sistema de rectificação constituído por válvulas, solução que tem sido evitada devido aos custos adicionais daí decorrentes.

Turbinas auto-rectificadoras de diversos tipos têm sido propostas e utilizadas para escoamentos bidireccionais na conversão de energia das ondas. A turbina Wells é possivelmente a mais conhecida e mais frequentemente usada para escoamentos de ar bidireccionais. É uma turbina de escoamento axial. O seu rendimento máximo em condições estacionárias pode exceder 70%. No entanto, a gama de caudais em que a turbina Wells opera com bom rendimento é relativamente estreita, o que se traduz por rendimentos médios modestos em condições de ondas reais irregulares. Além disso, a turbina Wells é caracterizada por uma velocidade de rotação relativamente elevada e um binário baixo, e ainda (sendo uma turbina de reacção) por uma força axial sobre o rotor relativamente grande. Estas

- 3 -

características podem ser inconvenientes nas aplicações em energia das ondas.

A turbina de acção (também conhecida por turbina de impulso ou de impulsão, ou, em língua inglesa, "impulse turbine") de escoamento axial é possivelmente a mais frequentemente proposta, como alternativa à turbina Wells, para aplicações no aproveitamento da energia das ondas. A turbina de acção de escoamento axial foi utilizada desde o final do século dezanove para aproveitamento da energia do vapor de água (turbina de vapor de De Laval). Na sua versão clássica em escoamento unidireccional, o escoamento de fluido é acelerado e adquire rotação num conjunto de tubeiras, após o que incide num rotor provido de pás onde é deflectido, saindo com uma direcção aproximadamente axial. As pás do rotor têm uma configuração tal que a pressão do escoamento de saída é aproximadamente igual à do escoamento de entrada (o que caracteriza a turbina de acção). Nas aplicações em escoamento bidireccional, a turbina deve ter um comportamento idêntico quando o sentido do escoamento se inverte, e por isso devem existir duas coroas de tubeiras (ou pás de guiamento) uma de cada lado do rotor, de tal modo que a turbina (rotor e estator) tenha um plano médio de simetria perpendicular ao eixo de rotação. Uma configuração deste tipo de turbina para aplicações em energia das ondas está descrita na US Patent No. 3 922 739. Aquela exigência de simetria leva a que o fluido, depois de atravessar uma primeira coroa de pás fixas de guiamento e o rotor, incida sobre a segunda coroa de pás fixas com um

- 4 -

ângulo de incidência excessivo. O desalinhamento entre as pás fixas da segunda coroa e o escoamento de aproximação proveniente do rotor dá origem a importantes perdas aerodinâmicas (ou hidrodinâmicas no caso de água) com a conseqüente grande perda de rendimento. Este problema pode ser (pelo menos parcialmente) ultrapassado se o ângulo de fixação das pás do estator, ou a própria geometria das pás, for controlável quando se altera o sentido do escoamento que atravessa a turbina. A implementação prática deste tipo de controlo requer a introdução de mecanismos que aumentam os custos, agravam a manutenção e reduzem a fiabilidade da turbina, o que tem desencorajado a sua utilização. Um modo alternativo de reduzir as perdas aerodinâmicas (ou hidrodinâmicas) por incidência excessiva do escoamento na segunda coroa de pás do estator consiste em aumentar a distância entre as coroas de pás do estator e a coroa de pás do rotor, com o objectivo de reduzir a velocidade (e conseqüentemente a energia cinética) do escoamento à entrada da segunda coroa de pás do estator e desse modo reduzir as perdas de pressão por separação que aí ocorrem. Esse objectivo foi proposto na patente WO 2008/0112530, onde se descreve que as duas coroas de pás do estator, uma de cada lado do rotor, estão afastadas da coroa de pás do rotor tanto radialmente como axialmente, estando a ela ligadas por condutas anulares. O afastamento radial permite, pela lei da conservação do momento angular, que a componente circunferencial da velocidade do escoamento seja reduzida à entrada da segunda coroa de pás fixas. Esse afastamento radial, eventualmente em conjugação com o

- 5 -

afastamento entre as paredes interior e exterior da conduta anular (ou seja o aumento do comprimento das pás do estator), permite também reduzir a componente meridiana (projectão sobre um plano axial) da velocidade do escoamento.

O presente invento refere-se a uma turbina auto-rectificadora constituída por um rotor e por duas coroas de pás fixas de guiamento. O rotor tem entrada e saída radiais, o que significa que à entrada e à saída do rotor a componente axial da velocidade do escoamento do fluido é relativamente pequena. O escoamento processa-se centripetamente (no sentido da coordenada radial decrescente) à entrada no rotor e centrifugamente (no sentido da coordenada radial crescente) à saída dele. O estator tem duas coroas de pás formando condutas dispostas circunferencialmente em torno do rotor, mas não afastadas axialmente dele como sucede com a patente WO 2008/0112530. O escoamento entre cada saída/entrada do rotor e a respectiva coroa de pás de guiamento é essencialmente radial (a componente axial da velocidade é relativamente pequena). A ligação é assegurada por uma conduta formada por duas paredes de revolução em torno do eixo de rotação, podendo particularmente uma ou ambas as paredes serem discos planos perpendiculares ao eixo de rotação.

Com esta configuração, consegue-se para a turbina, constituída pelo rotor e pelas duas coroas de pás de guiamento, uma configuração compacta, em especial no que

- 6 -

respeita à sua dimensão axial. Esta configuração tem a vantagem de permitir a montagem, no mesmo veio que o rotor e na proximidade dele, de um volante de inércia apropriado, de diâmetro maior que o do rotor da turbina, que permita a regularização do binário no veio de saída.

Descrição das figuras:

Figura 1. Representação esquemática da turbina, em corte por um plano contendo o seu eixo de rotação (1). As pás (2) do rotor e (7, 8) do estator não estão representadas em corte mas sim rebatidas circunferencialmente sobre o plano do desenho. O rotor compreende um conjunto de pás (2) encastradas num cubo (3) montado num veio (4). A entrada e saída de fluido no rotor efectuam-se em (5) e (6), ou vice-versa, consoante o sentido do escoamento que atravessa a turbina. O estator compreende duas coroas de pás de guiamento (7) e (8), circunferencialmente montadas em torno do eixo de rotação (1), e localizadas no alinhamento radial das respectivas entradas/saídas (5) e (6) do rotor. A ligação (9) entre a coroa de pás (7) e a entrada/saída (5) do rotor é assegurada por uma conduta formada por paredes de revolução (10) e (11). Uma destas paredes, ou ambas, poderão particularmente ter a forma de disco plano. Idêntica descrição pode ser feita para a conduta de ligação (12) e as paredes de revolução (13) e (14). (No caso particular desta figura, todas estas paredes de revolução, (10), (11), (13) e (14), estão representadas como discos planos.) Os canais formados pelas pás do rotor são

- 7 -

limitados exteriormente por um invólucro de revolução (15), que na configuração representada nesta figura está ligado rigidamente às próprias pás do rotor.

Figura 2. Representação esquemática idêntica à da Fig. 1, salvo que o invólucro de revolução (16) que limita os canais formados pelas pás do rotor faz parte do estator.

Figura 3. Representação esquemática de um corte das pás de guiamento duma das coroas do estator e um corte parcial das pás do rotor por um plano perpendicular ao eixo de rotação da turbina. As pás do estator (17) (coincidindo com as pás (7) ou (8) da Fig. 1) podem ser perfiladas aerodinamicamente, como está representado na Fig. 3, ou podem ser mais simplesmente feitas de chapa encurvada. A linha média do perfil das pás do estator tem uma curvatura tal que as pás deflectem o escoamento centrípeto de entrada conferindo-lhe rotação ("swirl") com uma componente circunferencial da velocidade do mesmo sentido que o sentido (F) de rotação normal do rotor. As pás do rotor (2), junto às suas extremidades de entrada/saída estão inclinadas, em relação à direcção radial, dum ângulo (B) com sentido oposto ao sentido (F) de rotação do rotor.

Figura 4. Diagrama de velocidades, num dado instante, junto à entrada das pás do rotor. O vector U é a velocidade do rotor junto à sua periferia. O vector V representa a velocidade média do escoamento num referencial fixo, fazendo um ângulo C com um plano axial. O vector W

- 8 -

representa a velocidade relativa do escoamento num referencial solidário com o rotor, e faz um ângulo A com um plano axial.

Figura 5. Diagrama das velocidades à saída do rotor no mesmo instante que a Fig. 4 e com símbolos análogos aos da Fig. 4 afectados de um asterisco para os distinguir. O vector U^* é a velocidade do rotor junto à sua periferia. O vector V^* representa a velocidade média do escoamento num referencial fixo. O vector W^* representa a velocidade relativa do escoamento num referencial solidário com o rotor, e faz um ângulo A^* com um plano axial.

Figura 6. Representação esquemática e em perspectiva das pás do rotor, sem invólucro exterior como na Fig. 2.

Figura 7. Representação esquemática da turbina, com rotor análogo ao da Fig. 1, mas com duas coroas de pás de guiamento (18) e (19) amovíveis por translação axial, de tal modo que cada coroa se possa inserir ou retirar do espaço do escoamento, conforme o sentido deste. Esta figura representa a solução preferencial, em que as duas coroas de pás estão rigidamente ligadas uma à outra e, quando uma das coroas está inserida no espaço do escoamento, a outra está retirada desse espaço.

Figura 8. Representação comparável à da Fig. 3, de um corte parcial das pás de guiamento duma das coroas do estator e das pás do rotor por um plano perpendicular ao eixo de

- 9 -

rotação da turbina, para a configuração da Fig. 7. Nesta configuração, o afastamento radial entre o rotor e as pás de guiamento é pequeno e a coroa de pás pode deslocar-se axialmente. O desenho representa a situação de escoamento de entrada no rotor, porque, em princípio, essa coroa de pás estaria removida durante o escoamento de saída.

Descrição pormenorizada da invenção:

Esta patente refere-se a uma turbina capaz de funcionar eficientemente mantendo o seu sentido de rotação, qualquer que seja o sentido do escoamento que a atravessa. Presta-se por isso a aplicações em que o escoamento é alternado, como nos sistemas de coluna de água oscilante para aproveitamento de energia das ondas, e na generalidade dos casos em que o escoamento é bidireccional, como no aproveitamento de certas energias renováveis ou em outras aplicações.

A turbina está representada esquematicamente na Fig. 1, em corte por um plano contendo o seu eixo de rotação (1). As pás do rotor e do estator não estão representadas em corte mas sim rebatidas circunferencialmente sobre o plano do desenho. O rotor compreende um conjunto de pás (2) encastradas num cubo (3) montado num veio (4). A entrada e saída de fluido no rotor efectua-se em (5) e (6), ou vice-versa, consoante o sentido do escoamento que atravessa a turbina. O estator compreende duas coroas de pás de guiamento ("guide vanes")

- 10 -

(7) e (8), circunferencialmente montadas em torno do eixo de rotação, e localizadas no alinhamento radial das respectivas entradas/saídas (5) e (6) do rotor. A ligação (9) entre a coroa de pás (7) e a entrada/saída (5) do rotor é assegurada por uma conduta formada por paredes de revolução (10) e (11). Uma destas paredes, ou ambas, poderão particularmente ter a forma de disco plano. Idêntica descrição pode ser feita para a conduta de ligação (12) e as paredes de revolução (13) e (14). No caso particular da Fig. 1, todas estas paredes de revolução, (10), (11), (13) e (14), estão representadas como discos planos. Os canais formados pelas pás do rotor são limitados exteriormente por um invólucro de revolução, que pode estar ligado rigidamente às próprias pás do rotor, como representado em (15) na Fig. 1, ou pode fazer parte do estator, como representado em (16) na Fig. 2.

A Fig. 3 representa esquematicamente um corte das pás de guiamento duma das coroas do estator e um corte parcial das pás do rotor por um plano perpendicular ao eixo de rotação da turbina. As pás do estator (17) (coincidindo com as pás (7) ou (8) da Fig. 1) podem ser perfiladas aerodinamicamente, como está representado na Fig. 3, ou podem ser mais simplesmente feitas de chapa encurvada. A linha média do perfil das pás do estator tem uma curvatura tal que as pás deflectem o escoamento centrípeto de entrada conferindo-lhe rotação ("swirl") com uma componente circunferencial da velocidade do mesmo sentido que o sentido (F) de rotação normal do rotor. As pás do rotor

- 11 -

(2), junto às suas extremidades de entrada/saída, estão inclinadas, em relação à direcção radial, dum ângulo (B) com sentido oposto ao sentido (F) de rotação do rotor.

A Fig. 4 representa o diagrama de velocidades, num dado instante, junto à entrada das pás do rotor. O vector U é a velocidade do rotor junto à sua periferia, sendo a sua magnitude igual ao produto do raio exterior do rotor pela sua velocidade de rotação em radianos por unidade de tempo. O vector V representa a velocidade média do escoamento num referencial fixo. O ângulo C da velocidade V com um plano perpendicular axial depende essencialmente da geometria do estator, em particular da geometria da coroa de pás de pré-guiamento e da geometria da conduta com paredes de revolução de ligação ao rotor. A magnitude do vector V depende ainda do caudal de entrada na turbina. O vector W representa a velocidade relativa do escoamento num referencial solidário com o rotor, e resulta de subtrair vectorialmente o vector U ao vector V . O ângulo A da velocidade relativa W com um plano axial depende da relação V/U entre as magnitudes das velocidades V e U (ou seja depende da relação entre o caudal do escoamento e a velocidade de rotação do rotor) e também do ângulo C da velocidade V . Em condições de caudal e velocidade de rotação próximas das condições de melhor rendimento aerodinâmico ou hidrodinâmico da turbina, o ângulo A da velocidade relativa à entrada das pás do rotor deverá ser pouco diferente do ângulo B das pás do próprio rotor, situação em que é minimizada a separação do escoamento

- 12 -

junto ao bordo de ataque das pás do rotor. Esta condição implica que o ângulo B das pás do rotor deve ser significativamente menor do que o ângulo C da velocidade V. Esta condição define também uma relação de projecto entre, por um lado, o caudal nominal e a velocidade de rotação nominal, e, por outro lado, a geometria da coroa de pás de guiamento, a geometria da conduta de ligação ao rotor e a geometria das pás do rotor (em especial o ângulo B de entrada das pás do rotor).

A Fig. 5 representa, para o mesmo instante que a Fig. 4, o diagrama das velocidades à saída do rotor, designadas pelos mesmos símbolos, afectados de um asterisco para os distinguir das condições de entrada no rotor. Admitindo que, pela sua configuração e número, as pás do rotor desempenham eficazmente a sua função de guiamento e deflexão do escoamento relativo, o ângulo A* da velocidade relativa à saída do rotor é pouco diferente do ângulo B* das pás do rotor à saída. Se o caudal que atravessa a turbina for estacionário ou quase estacionário, a potência P absorvida pelo rotor pode ser calculada pela equação de Euler das turbomáquinas: $P = M (U^* W^* \sin A^* + U W \sin A)$, sendo M o caudal mássico. Esta expressão indica a conveniência de os ângulos A e A* serem positivos e não serem pequenos. Tipicamente, estes ângulos poderão estar compreendidos entre 30 e 60 graus.

Afastando radialmente as coroas de pás de guiamento em relação ao rotor, é possível reduzir a

- 13 -

velocidade com que o escoamento incide sobre a segunda coroa de pás do estator e, deste modo, minimizam-se as perdas por incidência.

A Fig. 6 representa, esquematicamente e em perspectiva, as pás do rotor. As pás do rotor devem satisfazer a especificação de ângulo de entrada e de saída. Devem também ser em número e ter configuração tais que guiem adequadamente o escoamento relativo desde a entrada até à saída do rotor. Aparte o possível arredondamento das arestas de entrada e saída, as pás do rotor podem ser de espessura uniforme ou variável, conforme mais adequado ao guiamento aerodinâmico ou hidrodinâmico do escoamento e consoante as conveniências de fabrico.

Na solução construtiva mais simples, as pás de guiamento estão fixas. Numa solução mais versátil, embora mais dispendiosa e menos fiável, o ângulo de posicionamento das pás de cada coroa poderá ser controlado em resposta às variações de magnitude e sentido do caudal. Isto será feito conjuntamente para as pás duma mesma coroa por um mecanismo de anel e barras articuladas accionado por um servomotor, à semelhança do que sucede no distribuidor das convencionais turbinas hidráulicas de tipo Francis e Kaplan.

Um modo alternativo de evitar as perdas por incidência excessiva do escoamento à entrada da segunda coroa de pás de guiamento consiste simplesmente em retirá-la do espaço do escoamento. Isto pode ser realizado por

- 14 -

translação axial das duas coroas de pás de guiamento, de tal modo que cada coroa se possa inserir ou retirar do espaço do escoamento, conforme o sentido deste. Preferencialmente, as duas coroas de pás ((18) e (19) na Fig. 7) estão rigidamente ligadas uma à outra e, quando uma das coroas está inserida no espaço do escoamento, a outra está retirada desse espaço. O movimento de translação deve ser controlado de modo a completar-se num período breve, quando o sentido do escoamento se inverte, assegurando-se, na medida do possível, que o fluido atravessasse uma coroa de pás de guiamento antes de entrar no rotor mas não após sair do mesmo. Devido à alternância do sentido do escoamento, cada uma das coroas de pás será sucessivamente inserida e retirada do espaço do escoamento. Uma vez que, nesta solução construtiva, se elimina o problema das perdas por separação à entrada da segunda coroa de pás de guiamento, deixa de haver vantagem em afastar radialmente estas coroas em relação ao rotor, pelo que, preferencialmente, o espaçamento radial entre a entrada/saída do rotor e a respectiva coroa de pás de guiamento será pequeno, conforme representado esquematicamente nas Figs 7 e 8. O movimento de translação axial do conjunto das duas coroas de pás pode efectuar-se por accionamento hidráulico, pneumático, eléctrico ou outro, podendo ainda ser utilizada a gravidade se o eixo de rotação for suficientemente inclinado em relação ao plano horizontal.

O conjunto constituído pelas pás do rotor, as duas coroas de pás de guiamento e as condutas de ligação

- 15 -

pode ser simétrico em relação a um plano médio perpendicular ao eixo de rotação, caso em que $U = U^*$ e $B = B^*$. No entanto, noutras realizações poderá não haver simetria ou haver apenas simetria parcial, para melhor adequação a diferentes condições de escoamento num e noutro sentido, como seja o que decorre da assimetria entre cristas e cavas de ondas que não sejam de pequena amplitude ou das diferenças entre a massa específica do ar no interior da câmara pneumática dumã coluna de água oscilante e na atmosfera exterior.

REIVINDICAÇÕES

1. Turbina para escoamento bidireccional de sentido alternado que compreende um rotor e um estator formado por dois conjuntos de pás de guiamento, **caracterizada por** a entrada e saída de fluido no rotor se efectuar em (5) e (6), ou vice-versa, consoante o sentido do escoamento que atravessa a turbina e por o estator compreender dois conjuntos de pás de guiamento (7) e (8), circunferencialmente montados em torno do eixo de rotação, e localizados no seguimento radial das respectivas entradas/saídas (5) e (6) do rotor.

2. Turbina de acordo com a reivindicação 1 **caracterizada por** o referido rotor ser constituído por um cubo (3) em torno do qual estão dispostas circunferencialmente as pás (2), sendo as duas zonas de abertura (5, 6) na sua periferia, axialmente afastadas uma da outra, viradas para o exterior na direcção da coordenada radial crescente, e estando as pás (2) do rotor, junto a cada uma das aberturas (5, 6), inclinadas, em relação a um plano axial, de um ângulo B de sentido contrário ao sentido normal F de rotação do rotor;

3. Turbina de acordo com a reivindicação 1 **caracterizada por** referido estator possuir:

- 17 -

um primeiro conjunto de pás de guiamento (7) dispostas circunferencialmente em torno do eixo (1) e localizadas exteriormente no seguimento radial da respectiva saída/entrada (5) do rotor para deflectir o escoamento de aproximação ao rotor ou provindo dele;

uma ligação (9) do primeiro conjunto de pás de guiamento (7) à correspondente zona de entrada/saída (5) do rotor, formada preferencialmente por paredes de revolução (10, 11);

um segundo conjunto de pás de guiamento (8) dispostas circunferencialmente em torno do eixo (1) e localizadas exteriormente no seguimento radial da respectiva saída/entrada (6) do rotor para deflectir o escoamento de aproximação ao rotor ou provindo dele;

uma ligação (12) do segundo conjunto de pás de guiamento (8) à correspondente zona de entrada/saída (6) do rotor, formada preferencialmente por paredes de revolução (13, 14).

4. Turbina de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada por** os dois conjuntos de pás de guiamento do estator (18, 19), dispostos circunferencialmente no exterior do rotor, serem móveis com translação axial, de modo que cada um dos conjuntos possa ser inserido no escoamento de aproximação ao rotor e retirado do escoamento de saída do rotor; sendo a distância radial entre o rotor e as pás de guiamento preferencialmente pequena.

- 18 -

5. Turbina de acordo com as reivindicações 3 e 4, **caracterizada por**, no estator, o ângulo de posicionamento das pás de guiamento de cada um dos dois conjuntos poder ser variável, preferentemente controlado por um mecanismo de anel e barras articuladas do tipo comumente utilizado no distribuidor das turbinas hidráulicas de tipo Francis e Kaplan.

6. Turbina de acordo com as reivindicações anteriores **caracterizada por** os canais formados pelas pás (2) do rotor serem limitados exteriormente ao longo de toda a periferia:

- por um invólucro (15) ligado rigidamente às próprias pás do rotor,
- ou por um invólucro (16) fazendo parte do estator.

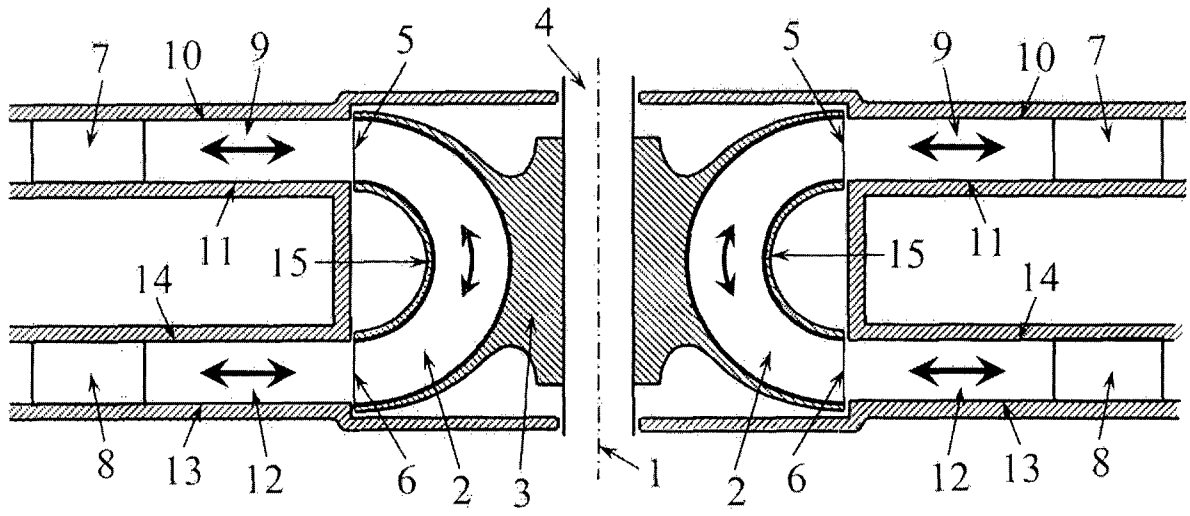


Figura 1

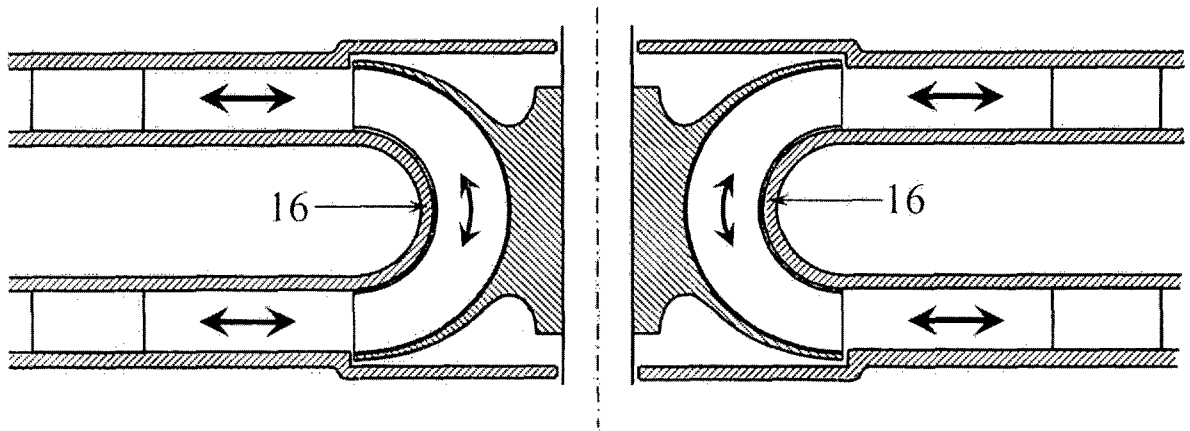


Figura 2

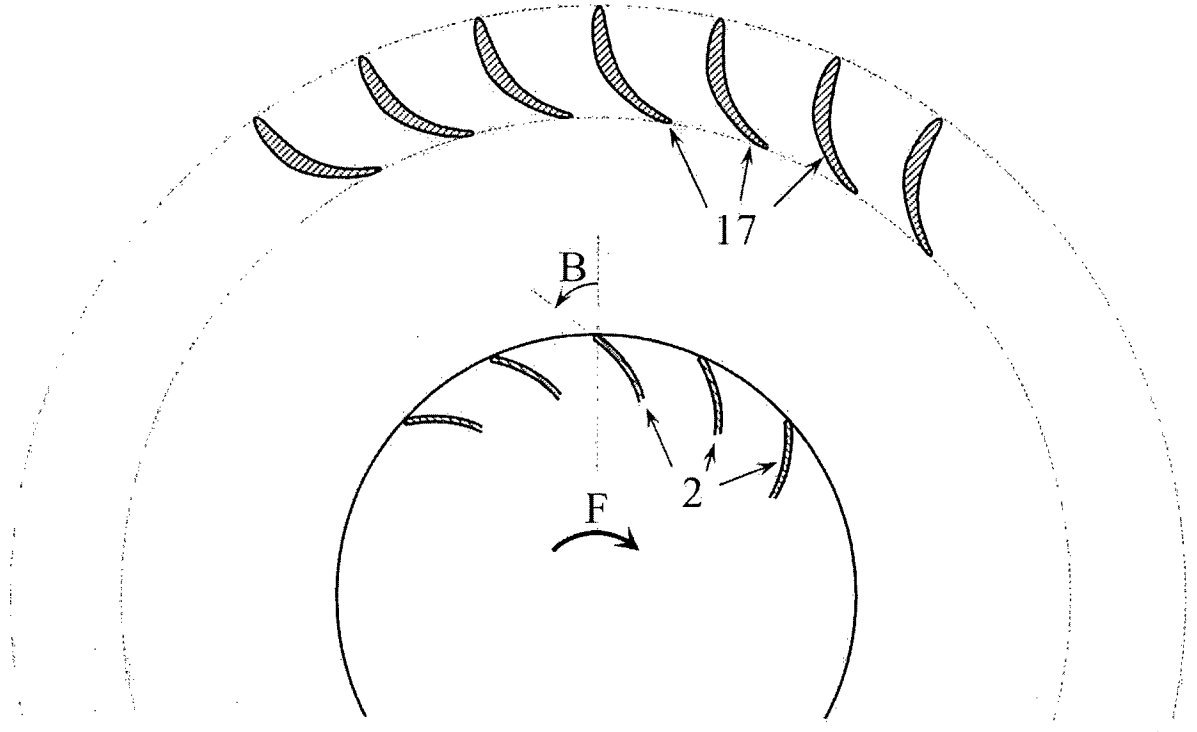


Figura 3

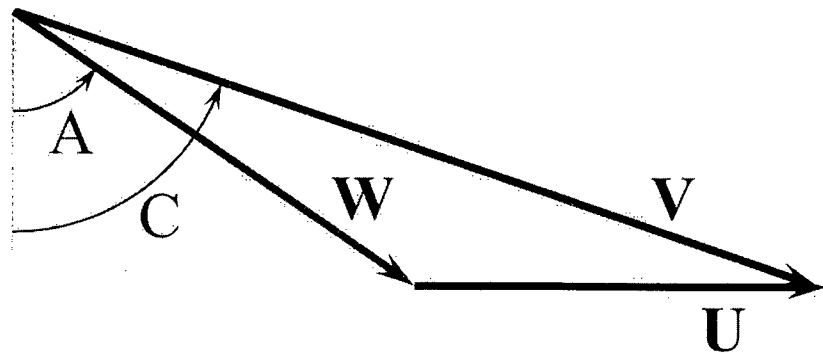


Figura 4

3/4

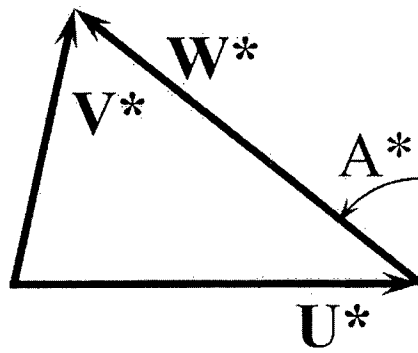


Figura 5

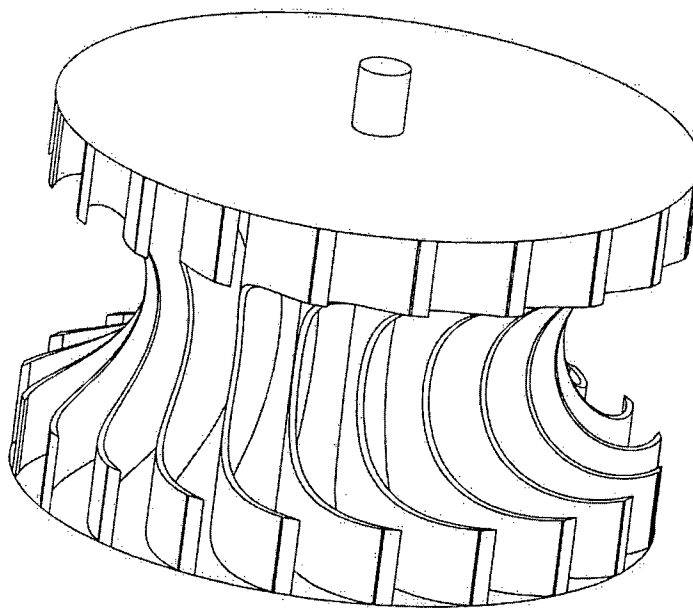


Figura 6

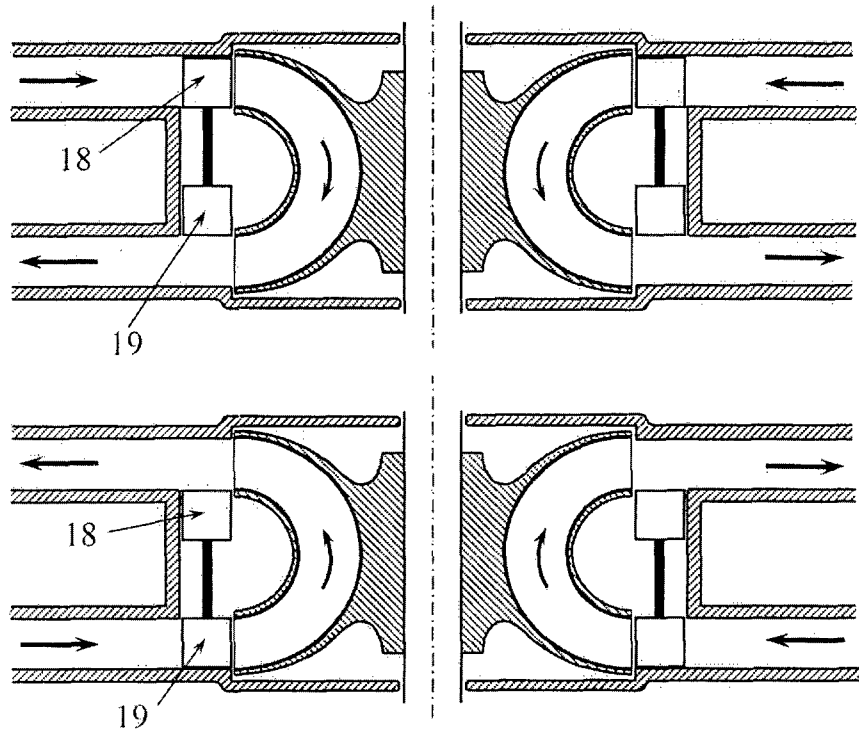


Figura 7

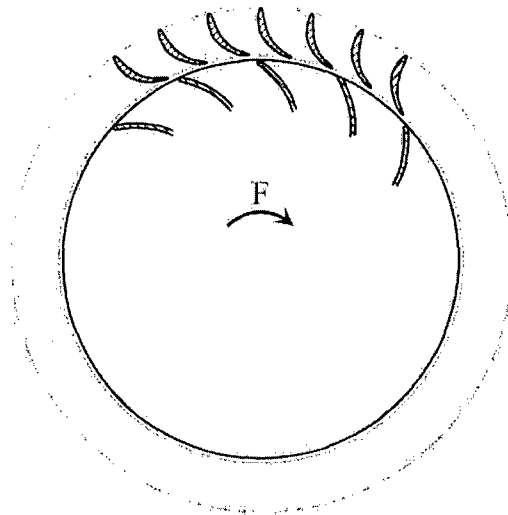


Figura 8