

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

|                                                                    |                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (22) Data de pedido: <b>2012.04.20</b>                             | (73) Titular(es):<br><b>ALSTOM RENEWABLE TECHNOLOGIES</b><br><b>82, AVENUE LÉON BLUM F-38100 GRENOBLE</b><br><b>FR</b>            |
| (30) Prioridade(s): <b>2011.04.20 FR 1153428</b>                   |                                                                                                                                   |
| (43) Data de publicação do pedido: <b>2014.02.26</b>               |                                                                                                                                   |
| (45) Data e BPI da concessão: <b>2015.06.17</b><br><b>200/2015</b> | (72) Inventor(es):<br><b>SYLVAIN LAVIGNE</b> <b>FR</b><br><b>CLAUDE BERAL</b> <b>FR</b><br><b>JEAN-BERNARD HOUELINE</b> <b>FR</b> |
|                                                                    | (74) Mandatário:<br><b>NUNO MIGUEL OLIVEIRA LOURENÇO</b><br><b>RUA CASTILHO, Nº 50 - 9º 1269-163 LISBOA</b> <b>PT</b>             |

(54) Epígrafe: **RODA PARA MÁQUINA HIDRÁULICA, MÁQUINA HIDRÁULICA EQUIPADA COM UMA TAL RODA E INSTALAÇÃO DE CONVERSÃO DE ENERGIA COMPREENDENDO UMA TAL MÁQUINA HIDRÁULICA**

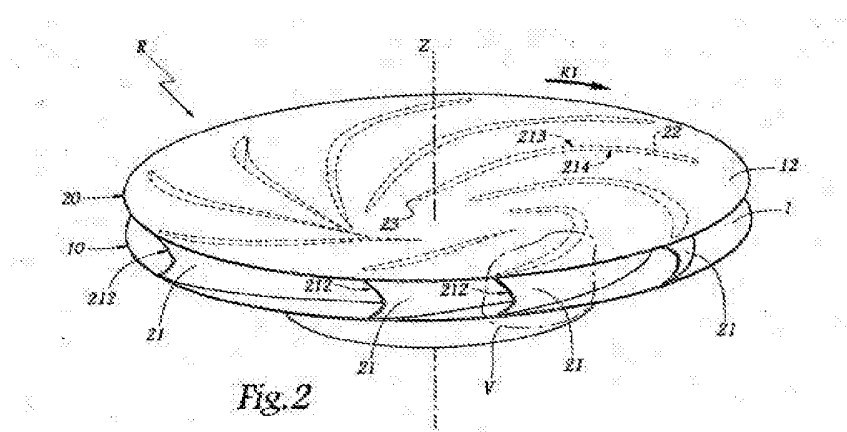
(57) Resumo:

ESTA INVENÇÃO REFERE-SE A UMA RODA DE TIPO FRANCIS (200) PARA MÁQUINA HIDRÁULICA, QUE COMPREENDE UMA COROA (1) DE SIMETRIA DE REVOLUÇÃO À VOLTA DE UM EIXO DE ROTAÇÃO (Z) DA RODA (200) UM TETO (12) E UMA PLURALIDADE DE LÂMINAS (21) ARQUEADAS CADA UMA TENDO UMA BORDA PERIFÉRICA (212). A BORDA PERIFÉRICA (212) DE PELO MENOS UMA DAS LÂMINAS (21) É CURVA COM A SUA CONCAVIDADE VIRADA PARA O EXTERIOR DA RODA (200). UMA DISTÂNCIA MEDIDA ENTRE UM PONTO QUALQUER DA BORDA PERIFÉRICA (212) E UMA LINHA RETA QUE PASSA, POR UM LADO, POR UM PRIMEIRO PONTO DE CONEXÃO ENTRE A BORDA PERIFÉRICA (212) E A COROA (1) E, POR OUTRO LADO, POR UM SEGUNDO PONTO DE CONEXÃO ENTRE A BORDA PERIFÉRICA (212) E O TETO (12), É MÁXIMA AO NÍVEL DE UM PONTO INTERMÉDIO DA BORDA PERIFÉRICA (212). O RAIOS (RN) DO PONTO INTERMÉDIO (N) É ESTRITAMENTE INFERIOR AO RAIOS (RA) DO PRIMEIRO PONTO DE CONEXÃO (A). O RAIOS (RN) DO PONTO INTERMÉDIO (N) É ESTRITAMENTE INFERIOR AO RAIOS (RC) DO SEGUNDO PONTO DE CONEXÃO (C).

## RESUMO

### **"RODA PARA MÁQUINA HIDRÁULICA, MÁQUINA HIDRÁULICA EQUIPADA COM UMA TAL RODA E INSTALAÇÃO DE CONVERSÃO DE ENERGIA COMPREENDENDO UMA TAL MÁQUINA HIDRÁULICA"**

Esta invenção refere-se a uma roda de tipo Francis (200) para máquina hidráulica, que compreende uma coroa (1) de simetria de revolução à volta de um eixo de rotação (Z) da roda (200) um teto (12) e uma pluralidade de lâminas (21) arqueadas cada uma tendo uma borda periférica (212). A borda periférica (212) de pelo menos uma das lâminas (21) é curva com a sua concavidade virada para o exterior da roda (200). Uma distância medida entre um ponto qualquer da borda periférica (212) e uma linha reta que passa, por um lado, por um primeiro ponto de conexão entre a borda periférica (212) e a coroa (1) e, por outro lado, por um segundo ponto de conexão entre a borda periférica (212) e o teto (12), é máxima ao nível de um ponto intermédio da borda periférica (212). O raio ( $R_n$ ) do ponto intermédio (N) é estritamente inferior ao raio ( $R_a$ ) do primeiro ponto de conexão (A). O raio ( $R_n$ ) do ponto intermédio (N) é estritamente inferior ao raio ( $R_c$ ) do segundo ponto de conexão (C).



### **DESCRIÇÃO**

#### **"RODA PARA MÁQUINA HIDRÁULICA, MÁQUINA HIDRÁULICA EQUIPADA COM UMA TAL RODA E INSTALAÇÃO DE CONVERSÃO DE ENERGIA COMPREENDENDO UMA TAL MÁQUINA HIDRÁULICA"**

A presente invenção refere-se a uma roda de tipo Francis para máquina hidráulica destinada a ser atravessada por um escoamento forçado de água. Quando a máquina é uma turbina, um tal escoamento tem por efeito mover a roda em rotação e quando a máquina é uma bomba, um tal escoamento resulta dessa rotação. Por outro lado, a presente invenção refere-se a uma máquina hidráulica equipada com uma tal roda. Por outro lado, a presente invenção diz respeito a uma instalação de conversão de energia que compreende uma tal máquina hidráulica.

De modo convencional, uma instalação de conversão de energia hidráulica em energia elétrica compreende uma máquina hidráulica que funciona no modo de turbina e que é atravessada por um escoamento forçado de água cujo fluxo é controlado por um distribuidor. A roda de turbina move em rotação um veio ligado a um alternador. Para poder acoplar o alternador à rede elétrica, a velocidade de rotação da turbina deve ser estável, para que a frequência do sinal elétrico na saída do alternador seja igual à frequência da rede elétrica. A frequência da rede elétrica é de 50 Hz na Europa, mas esse valor pode ser de 60 Hz noutros territórios, por exemplo nos Estados Unidos. Enquanto a máquina não é acoplada à rede, o binário da roda é nulo. No momento das fases transitórias de funcionamento, flutuações de pressão de escoamento provocam instabilidades, de modo que a velocidade de rotação da roda da turbina não está estabilizada e o alternador não pode ser acoplado à rede

elétrica. Em particular, no momento do arranque da turbina, o distribuidor abre-se pouco a pouco, movendo oscilações da velocidade de rotação da roda da turbina. Depois, quando a abertura desejada do distribuidor é atingida, o alternador é acoplado à rede elétrica desde que a velocidade de rotação seja estável e atinja uma velocidade de sincronismo.

A figura 1 mostra uma roda 100 de tipo Francis do estado da técnica, que compreende uma coroa 101 e um teto 112 situado em frente da coroa 101. A roda 100 compreende, além disso nove lâminas 121 solidárias da coroa 101 e do teto 112 e que se estendem entre a coroa 101 e o teto 112. Cada lâmina 121 tem um bordo de ataque 221 retilíneo que é atravessado primeiramente por um escoamento forçado de água, quando a roda pertence a uma máquina hidráulica que funciona no modo de turbina.

O gráfico da figura 4 mostra, em abcissas, uma grandeza chamada «velocidade de rotação reduzida», expressa em tr/min, proporcional à relação da velocidade de rotação da roda de uma turbina sobre a raiz quadrada da altura de queda e, em ordenadas, uma grandeza chamada «binário reduzido», expressa em Nm e proporcional à relação do binário exercida pela roda, sobre a altura de queda. Cada curva de C1 a C6 do gráfico dá o binário reduzido da roda em função da sua velocidade de rotação reduzida, para uma abertura constante de um distribuidor disposto a montante dessa roda. As curvas em linhas cheias C1, C3 e C5 correspondem ao funcionamento de uma turbina equipada com a roda 100 do estado da técnica, e as curvas a tracejado C2, C4 e C6 correspondem ao funcionamento de uma turbina equipada com uma roda de acordo com a invenção.

As pequenas velocidades de rotação reduzidas da turbina, sobre a parte esquerda do gráfico, correspondem a grandes alturas de queda, enquanto as grandes velocidades reduzidas da turbina sobre a parte direita do gráfico, correspondem a alturas de queda baixas. Os pontos de P1 a P6 estão situados respetivamente na intersecção entre as curvas de C1 a C6 e uma linha reta horizontal correspondente a um binário reduzido nulo. Os pontos de P1 a P6 dão portanto uma velocidade de rotação reduzida de roda permitindo acoplar o alternador à rede elétrica. Sabe-se que num tal gráfico, os pontos de funcionamento para os quais a inclinação da curva é negativa correspondem a um funcionamento estável da turbina, ou seja a uma velocidade de rotação estável da roda. Por outro lado, os pontos de funcionamento para os quais a inclinação da curva é positiva correspondem a uma velocidade de rotação da roda instável, o que não permite acoplar o alternador à rede. De modo convencional, procura-se ser capaz de pôr a funcionar a turbina para alturas de queda o mais baixo possível, conservando uma inclinação negativa.

Para a roda 100 do estado da técnica, observa-se que para o ponto P1, que corresponde a uma primeira abertura do distribuidor para uma altura de queda relativamente significativa, a inclinação da curva C1 é negativa e a velocidade de rotação é estável. Referindo o ponto P3, que corresponde a uma altura de queda mais baixa para uma segunda abertura do distribuidor, a curva C3 é quase vertical o que significa que a velocidade de rotação da roda 100 do estado da técnica é pouco estável. Finalmente, a curva C5 é em forma de S e a sua inclinação no ponto P5 é

positiva, o que corresponde a uma velocidade de rotação instável da roda 100.

Em conclusão, a roda 100 do estado da técnica não permite, sozinha, estabilizar a sua velocidade de rotação para alturas de queda relativamente baixas.

A fim de estabilizar a velocidade de rotação de uma roda do estado da técnica, é conhecida a utilização de uma turbina com um dispositivo suplementar de acoplamento que consiste em dessincronizar diretrizes. Estas diretrizes são repartidas à volta da roda e são dessincronizáveis, isto é que é possível orientá-las diferentemente umas em relação às outras para fazer variar à volta da roda o fluxo do escoamento para obter uma curva de inclinação negativa na representação da figura 4. No entanto dessincronizar as diretrizes necessita, por um lado, da colocação de servomotores de manobra das diretrizes para dessincronizar e, por outro lado, a colocação de um programa de controlo e de comando adequado.

US-2005/013691 divulga uma roda de tipo Francis que compreende um teto e uma cintura, entre os quais se estendem lâminas tendo um bordo de ataque arqueado cuja convexidade é circunferencial. Assim, os bordos de ataque compreendem cada um ponto intermédio, situado no fundo da forma curva do bordo de ataque. Esta roda tem uma geometria tal que o raio de um primeiro ponto de conexão entre o bordo de ataque e o teto é inferior ao raio do ponto intermédio. Esta geometria não permite melhorar a estabilidade da velocidade de rotação da roda, no momento das fases de acoplamento sobre a rede elétrica.

É para estes inconvenientes que se pretende mais particularmente remediar a invenção propondo uma roda de turbina cuja geometria específica permite estabilizar a velocidade de rotação da roda no momento das fases transitórias de arranque, para alturas de queda relativamente baixas.

Para este fim, a invenção tem por objetivo uma roda de tipo Francis para máquina hidráulica, destinada a ser atravessada por um escoamento forçado de água, que compreende:

- uma coroa de simetria de revolução à volta de um eixo de rotação da roda,
- um teto de simetria de revolução à volta do eixo de rotação e situado em frente da coroa,
- uma pluralidade de lâminas arqueadas, solidárias da coroa e do teto e cada uma tendo uma borda central próxima do eixo de rotação e uma borda periférica, oposta à borda central, que se estende entre a coroa e o teto e que se destina a ser atravessada primeiramente pelo escoamento quando a máquina hidráulica funciona no modo de turbina. Ou seja, quando a máquina hidráulica funciona no modo de turbina, o escoamento espalha-se da borda periférica para a borda central.

A borda periférica de pelo menos uma lâmina é curva com a sua concavidade virada para o exterior da roda. Uma primeira distância, medida entre um ponto qualquer da borda periférica e uma linha reta que passa, por um lado, por um primeiro ponto de conexão entre a borda periférica e a coroa e, por outro lado, por um segundo ponto de conexão entre a borda periférica e o teto é máxima ao nível de um ponto intermédio da borda periférica. O raio do ponto

intermédio é estritamente inferior ao raio do primeiro ponto de conexão. O raio do ponto intermédio é estritamente inferior ao raio do segundo ponto de conexão.

Através da forma oca da borda periférica das lâminas, que corresponde ao bordo de ataque quando a máquina hidráulica funciona no modo de turbina, põe-se a funcionar a turbina para alturas de choque mais baixas, conservando uma inclinação negativa para os pontos de funcionamento que permitem acoplar o alternador à rede elétrica. Isto permite obter uma velocidade de rotação estável e acoplar rapidamente a turbina à rede elétrica sem ter necessidade de acrescentar um dispositivo suplementar de acoplamento, em particular, para alturas de queda baixas.

De acordo com aspetos vantajosos mas não obrigatórios da invenção, uma tal roda pode incorporar uma ou várias das características seguintes, tomadas em qualquer combinação tecnicamente admissível:

- O ponto intermédio está mais afastado da linha reta.
- A projeção ortogonal do ponto intermédio sobre a linha reta está situada numa zona que se estende ao longo da linha reta e que está centrada sobre o meio da linha reta. A altura da zona é inferior a 80% de uma altura de cada lâmina, medida entre o primeiro ponto de conexão e o segundo ponto de conexão, de preferência inferior a 10%.
- A borda periférica das lâminas é em forma de porção de círculo, de elipse, de parábola, até mesmo de qualquer curva.

Uma primeira relação tendo:

- como denominador, uma altura de uma lâmina medida entre o primeiro ponto de conexão e o segundo ponto de conexão,

- como numerador, uma distância máxima entre a linha reta e a borda periférica,

está compreendida entre 0% e 200%, de preferência entre 30% e 80%.

- O ponto intermédio da borda periférica está situado a meia distância entre os pontos de conexão.

- Num primeiro plano, paralelo ao eixo de rotação e perpendicular a um segundo plano que passa por uma intersecção entre o teto e uma superfície média da lâmina situada entre uma face externa e uma face interna da lâmina, e que prolonga essa superfície média, a face externa é convexa e a face interna é côncava.

- No primeiro plano, a face externa e a face interna são em forma de porção de círculo, de elipse, de parábola, até mesmo de qualquer curva.

-Uma segunda relação, tendo:

- como denominador, uma altura de lâmina, medida entre o primeiro ponto de conexão e o segundo ponto de conexão,

- como numerador, uma distância máxima, medida paralelamente ao primeiro plano, entre a linha reta e a borda periférica,

está compreendida entre 0% e 200%, de preferência compreendida entre 10% e 40%.

- No primeiro plano, o ponto intermédio da borda periférica está situado a meia distância entre os pontos de conexão.

-No primeiro plano, a borda periférica é curva, com a sua concavidade virada no mesmo sentido que o sentido de rotação no modo de turbina da roda.

-Uma segunda distância, medida paralelamente ao primeiro plano, entre um ponto qualquer da borda periférica e a linha reta, é máxima para o ponto intermédio.

A invenção tem também por objetivo uma máquina hidráulica equipada com uma tal roda.

Vantajosamente, quando a máquina funciona no modo de turbina, o escoamento bate primeiramente na face externa das lâminas.

Finalmente, a invenção refere-se a uma instalação de conversão de energia que compreende uma tal máquina hidráulica.

A invenção será bem compreendida e outras vantagens desta vão sobressair também à luz da descrição que vai seguir-se de uma roda que equipa uma máquina hidráulica que pertence a uma instalação de conversão de energia, dada somente a título de exemplo e feita em referência aos desenhos anexados onde

- a figura 1 é uma vista em perspetiva de uma roda de máquina hidráulica do estado da técnica;

- a figura 2 é uma vista análoga à figura 1 de uma roda de máquina hidráulica de acordo com a invenção;

- a figura 3 é um corte de princípio de uma instalação de conversão de energia equipada com uma máquina hidráulica que compreende a roda na figura 2;

- a figura 4 é um gráfico que mostra seis curvas, três em linhas cheias mostram a velocidade de rotação da roda da figura 1 em função do seu binário, e três em tracejado mostram a velocidade de rotação da roda na figura 2 em função do seu binário;

- a figura 5 é uma vista parcial em perspectiva, num outro ângulo e a uma escala maior, do detalhe V na figura 2;

- a figura 6 é uma vista de uma lâmina que pertence à roda da figura 2, de acordo com a seta F6 na figura 5;

- a figura 7 é uma vista, numa escala maior, da lâmina da figura 6, de acordo com a seta F7 na figura 5;

- a figura 8 é uma vista em perspectiva da roda da figura 2;

- a figura 9 é um corte, visto de cima, da roda da figura 2, de acordo com o plano P8 na figura 7, o teto e a roda não estando representados; e

- a figura 10 é um corte, visto de cima, da roda da figura 2, de acordo com o plano P8 na figura 7, a cintura da roda não estando representada.

A instalação I representada na figura 3 compreende uma máquina hidráulica reversível M, que é uma turbina bomba de tipo Francis, cuja roda é alimentada a água a partir de um reservatório 3 onde desemboca uma conduta forçada 4 quando a máquina M funciona no modo de turbina. Em serviço, a roda 200 gira à volta de um eixo de rotação Z vertical. Quando a máquina M funciona no modo de turbina, a roda 200 gira num sentido de rotação R1, à volta do eixo Z, que corresponde ao sentido horário quando a roda R é vista de cima. Para produzir eletricidade no modo de turbina, a máquina M é acoplada a um alternador 5 por um veio 50 que gira à volta do eixo Z. Entre o reservatório 3 e a roda R são dispostas

diretrizes dianteiras 6 estáticas e diretrizes 7 orientáveis, cuja função é guiar um escoamento de água E, proveniente da conduta 4 e destinado a atravessar a roda R, na direção de uma conduta de descarga 8. As diretrizes 7 garantem também a função de um distribuidor porque permitem regular o fluxo de escoamento E.

A figura 2 ilustra a roda R de acordo com a invenção, que compreende uma coroa 1 e um teto 12 situado em frente da coroa 1. A coroa 1 e o teto 12 estão em simetria de revolução à volta do eixo Z. A coroa 1 e o teto 12 têm respetivamente uma borda periférica externa 10 e 20 centrada sobre o eixo Z. As superfícies da coroa 1 e do teto 12 têm formas esquerdas, geradas pela rotação, à volta e à distância do eixo Z, de um segmento de curva.

A roda R compreende, além disso, nove lâminas 21 solidárias da coroa 1 e do teto 12 e que se estendem entre a coroa 1 e o teto 12 à volta do eixo Z. Na figura 2, as zonas de conexão entre as lâminas 21, por um lado, e o teto 2, por outro lado, estão representadas a tracejado.

Um objeto é aqui qualificado de «central» quando se encontra perto do eixo Z, por oposição ao adjetivo «periférico» que designa um objeto que está afastado do eixo Z.

Cada lâmina 21 tem uma forma arqueada entre uma extremidade periférica 22 da lâmina 21 e uma extremidade central 23 da lâmina 21. Esta forma arqueada constitui uma curvatura principal da lâmina 21 globalmente na forma de porção de espiral. Cada lâmina 21 tem uma borda periférico 212, situada na periferia da coroa 1 e uma borda central

211, virada para o eixo Z. Cada lâmina 21 é delimitada por uma face externa 213, para o exterior da curvatura principal da lâmina 21, e por uma face interna 214, para o interior da curvatura principal da lâmina 21. As faces 213 e 214 juntam-se ao nível da borda central 211 e da borda periférica 212.

Quando a máquina M funciona no modo de turbina, o escoamento E bate primeiramente na face externa 213 das lâminas 21. Como visível nas figuras 9 e 10, num plano de corte perpendicular ao eixo de rotação Z, a face externa 213 de cada lâmina 21 é convexa e a face interna é côncava.

Quando a máquina hidráulica M funciona no modo de turbina, a borda periférica 212 de cada lâmina 21 forma um bordo de ataque e a borda central 211 forma um bordo de fuga. O bordo de ataque destina-se a ser atravessado primeiramente pelo escoamento E quando a máquina hidráulica M funciona no modo de turbina. Em outras palavras, no modo de turbina, o fluido espalha-se da borda periférica para a borda central. A descrição dada mais adiante para o modo de turbina retoma essas expressões «bordo de ataque» e «bordo de fuga»; pode ser transposta no caso de a roda funcionar no modo de bomba invertendo essas expressões.

Assinala-se A o ponto de conexão da coroa 1 com o bordo de ataque 212 de cada lâmina 21. Assinala-se B o ponto de conexão da coroa 1 com o bordo de fuga 211 de cada lâmina 21. De modo análogo, assinala-se C o ponto de conexão do teto 12 com o bordo de ataque 212 de cada lâmina 21 e assinala-se D o ponto de conexão do teto 12 com o bordo de fuga 211 de cada lâmina 21.

Assinala-se respetivamente  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  ou  $R_d$  o raio do ponto  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ou  $D$ . Cada raio  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  e  $R_d$  é a distância, medida radialmente, entre o eixo  $Z$  e o ponto  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ou  $D$ .

O raio  $R_d$  é inferior ao raio  $R_b$ . Os raios  $R_a$  e  $R_c$  são iguais e são estritamente superiores aos raios  $R_b$  e  $R_d$ . Em particular, o raio  $R_c$  é estritamente superior ao raio  $R_b$ , o que permite à máquina  $M$  poder funcionar no modo de bomba, com desempenhos satisfatórios. Quando a máquina  $M$  funciona no modo de turbina, a pressão do escoamento  $E$ , ao nível do ponto  $C$ , é mais significativo do que ao nível do ponto  $B$ .

As figuras de 5 a 7 mostram mais em detalhe a extremidade periférica 22 de uma das lâminas 21, enquanto as outras lâminas 21 são similares.

Assinala-se  $S$  uma superfície média de cada lâmina 21 que passa entre as faces externa 213 e interna 214 da lâmina 21, a igual distância dessas faces. Ao nível da extremidade periférica 22 da lâmina 21, a superfície média  $S$  coincide com o bordo de ataque 212. A superfície  $S$  está representada na figura 5, pelo seu traçado ao nível do teto 12.

Assinala-se  $L$ , uma linha reta que passa pelos pontos  $A$  e  $C$  do bordo de ataque 212. A linha reta  $L$  é paralela ao eixo de rotação  $Z$  da roda  $R$ . Assinala-se  $P_a$ , um plano que passa pela linha reta  $L$  e que está situado no prolongamento da superfície média  $S$  ao nível da sua intersecção com o teto 12. O plano  $P_a$  passa pela meia-tangente à esquerda  $T$  da extremidade periférica  $S_1$  do traçado ao nível do teto 12 da superfície média  $S$ .

A figura 6 é uma vista de acordo com uma seta F6 perpendicular ao plano Pa, e que faz frente à face externa 213 da lâmina 21.

O bordo de ataque 212 é curvo e não tem descontinuidade. Em outras palavras, o bordo de ataque 212 é cavado na direção do bordo de fuga 211, e a sua forma não tem rachas. Assim, a concavidade do bordo de ataque 212 está virada para o exterior da lâmina 21 e da roda R, em particular no plano Pa ou num plano paralelo às faces 213 ou 214, próximo do bordo de ataque 212.

No plano Pa, a forma curva, oca, do bordo de ataque 212 é definida por uma porção de círculo, como sobressai da figura 6. Assinala-se C21 o centro do bordo de ataque 212 no plano Pa e R21, o seu raio.

O bordo de ataque 212 é simétrico em relação a um plano P8 perpendicular à linha reta L que passa por um ponto intermédio N do bordo de ataque 212. O ponto N é o ponto do bordo de ataque 212 mais afastado da linha reta L.

Assinala-se D21, uma distância entre o ponto N e a linha reta L e assinala-se H, uma altura do bordo de ataque 212, medida entre os pontos A e C, ao longo da linha reta L. A distância D21 é a distância máxima entre o bordo de ataque 212 e a linha reta L.

No exemplo representado, a distância D21 é medida perpendicularmente à linha reta L. Seja d1, a distância entre a linha reta L e um ponto qualquer P do bordo de ataque 212, medida perpendicularmente à linha reta 212. Seja G, a projeção ortogonal do ponto P sobre a linha reta

L. A distância  $d_1$  é medida entre os pontos P e G. A distância  $d_1$  é a projeção do vetor PG no plano Pb. A distância  $d_1$  é nula para o ponto A e aumenta entre os pontos A e N. No ponto N a distância  $d_1$  é máxima e é igual à distância D21. Entre os pontos N e C, a distância  $d_1$  diminui. No ponto C, a distância  $d_1$  é nula.

Assim, ao longo do bordo de ataque 212 e entre os pontos A e C, a distância  $d_1$ , expressa como função de uma distância L1 entre o ponto A e o ponto G, compreende um único máximo e não compreende ponto de inflexão.

A derivada da distância  $d_1$  em relação à distância L1 é positiva entre os pontos A e N, é anulada no ponto N e é negativa entre os pontos N e C. A segunda derivada da distância  $d_1$  em relação à distância L1 é negativa entre os pontos A e C.

Uma relação tendo, como numerador, a distância D21 e, como denominador, a altura H, está compreendida entre 0% e 200%, de preferência compreendida entre 30% e 80%.

Assinala-se F, um ponto de intersecção entre a linha reta L e o plano P8. A distância entre o ponto A e o ponto F é igual à distância entre o ponto F e o ponto C. Ou seja, o plano P8 está situado a meia distância entre os pontos A e C, ao longo da linha reta L.

Assinala-se  $R_n$ , o raio do ponto N, isto é a distância, medida radialmente, entre o eixo Z e o ponto N. A distância  $R_n$  é estritamente inferior à distância  $R_a$  e à distância  $R_c$ .

A figura 7 é uma vista da extremidade externa 22 da lâmina 21 da figura 5, de acordo com uma seta F7, contida no plano Pa, e perpendicular à linha reta L. a figura 7 é pois uma vista num plano Pb perpendicular ao plano Pa.

Como visível na figura 7, o véu da lâmina 21 é curvado para o exterior da roda R. Em outras palavras, no plano Pb, a face externa 213 é convexa e a face interna 214 é côncava. Esta curvatura secundária das lâminas 21 é contínua e não tem rachas.

Mais precisamente, no plano Pb, a superfície externa 213, a superfície interna 214 e a superfície média S, que coincide com o bordo de ataque 212, são definidas cada uma por uma porção de círculo. Assinala-se C212 o centro do círculo que define a forma do bordo de ataque 212 e R212 o seu raio. Do mesmo modo, assinala-se, C213 e C214, o centro dos círculos que definem a forma da superfície externa 213 e da superfície interna 214, e R213 e R 214 e o seu respetivo raio.

Tendo em conta esta curvatura secundária, a linha reta que passa pelos pontos F e N, ao longo da qual é medida a distância D21, é inclinada em relação ao plano Pa da figura 6.

Assinala-se D22, uma distância medida paralelamente ao plano Pb entre o ponto F e o ponto N. A distância D22 é a distância máxima, para um plano paralelo ao plano Pb, entre a linha reta L e o bordo de ataque 212. A distância D22 é a projeção do vetor no plano Pb. Do mesmo modo, a distância D21 é a projeção do vetor FN no plano Pa.

Uma segunda relação tendo, como numerador, a distância  $D_{22}$  e, como denominador, a altura  $H$  da lâmina 21, está compreendida entre 0% e 200%, de preferência compreendida entre 10% e 40%.

Por outro lado, no plano  $P_b$ , a face externa 213 e a face interna 214 são simétricas em relação ao plano  $P_8$ . Em outras palavras, no plano  $P_b$ , o ponto  $N$  do bordo de ataque 212 está situado a meia altura entre os pontos de conexão  $A$  e  $C$ .

No exemplo representado, a distância  $D_{22}$  é medida perpendicularmente à linha reta  $L$ . Seja  $d_2$ , a distância entre a linha reta  $L$  e um ponto  $P$  qualquer do bordo de ataque 212 e a linha reta  $L$ , medida paralelamente ao plano  $P_b$  e perpendicularmente à linha reta  $L$ . A distância  $d_2$  é a projeção do vetor  $PG$  no plano  $P_b$ . A distância  $d_2$  é medida entre os pontos  $P$  e  $G$ , paralelamente ao plano  $P_b$ .

A distância  $d_2$  é nula no ponto  $A$  e aumenta entre os pontos  $A$  e  $N$ . No ponto  $N$ , a distância  $d_2$  é máxima e é igual à distância  $D_{22}$ . Entre os pontos  $N$  e  $C$ , a distância  $d_2$  diminui. No ponto  $C$ , a distância  $d_2$  é nula. Assim, ao longo do bordo de ataque 212 e entre os pontos  $A$  e  $C$ , a distância  $d_2$  expressa como função da distância  $L_1$ , compreende um único máximo e não compreende o ponto de inflexão. A derivada da distância  $d_2$  em relação à distância  $L_1$  é positiva entre os pontos  $A$  e  $N$ , é anulada no ponto  $N$  e é negativa entre os pontos  $N$  e  $C$ . A segunda derivada da distância  $d_2$  em relação à distância  $L_1$  é negativa entre os pontos  $A$  e  $C$ .

A concavidade da curvatura secundária das lâminas 21 está virada no sentido de rotação  $R1$  da roda  $R$ , quando a máquina  $M$  funciona no modo de turbina. Por outras palavras, numa secção perpendicular para o traçado da superfície média  $S$  sobre o teto 12, e na vista da figura 7, a face externa 213 das lâminas 21 é convexa e está virada ao contrário do sentido de rotação  $P1$ , e a face interna 214 é côncava e está virada no mesmo sentido que o sentido de rotação  $R1$ .

Assinalam-se  $R_p$ ,  $\theta_p$  e  $Z_p$  as coordenadas cilíndricas de um ponto  $P$  qualquer de cada bordo de ataque 212.

$R_p$  é o raio do ponto  $P$ . Seja  $P_z$ , a projeção ortogonal do ponto  $P$  sobre o eixo  $Z$ . O raio  $R_p$  é medido entre os pontos  $P_z$  e  $P$ , de acordo com uma direção radial. No ponto  $A$ , o raio  $R_p$  é igual ao raio  $R_a$ . O raio  $R_p$  diminui entre os pontos  $A$  e  $N$ . No ponto  $N$ , o raio  $R_p$  é mínimo e é igual ao raio  $R_n$ . O raio  $R_p$  aumenta entre os pontos  $N$  e  $C$ . No ponto  $C$ , o raio  $R_p$  é igual ao raio  $R_c$ .

$Z_p$  é a altura do ponto  $P$ . Assinala-se  $A_z$ , a projeção ortogonal do ponto  $A$  sobre o eixo  $Z$ . A altura  $Z_p$  do ponto  $P$  é a distância entre o ponto  $A_z$  e o ponto  $Z_p$ .

Assinala-se  $C_z$ , a projeção ortogonal do ponto  $C$  sobre o eixo  $Z$ . Ao longo do bordo de ataque 212 e entre os pontos  $A$  e  $C$ , o raio  $R_p$ , expresso como função da altura  $Z_p$ , compreende um único mínimo e não compreende ponto de inflexão. A derivada do raio  $R_p$  em relação à altura  $Z_p$  é positiva entre os pontos  $A$  e  $N$ , é anulada no ponto  $N$  e é negativa entre os pontos  $N$  e  $C$ . A segunda derivada do raio

$R_p$  em relação à distância  $Z_p$  é positiva entre os pontos A e C.

$\theta_p$  é o ângulo do ponto P, em coordenadas cilíndricas. O ângulo  $\theta_p$  tem um sentido positivo idêntico ao sentido de rotação  $R_1$  da roda R, quando a máquina M funciona no modo de turbina. Seja  $D_a$ , uma linha reta radial que passa pelo ponto A e o eixo Z. Para cada lâmina  $21$ , considera-se uma linha reta radial  $D_0$ , que passa pelo eixo Z, tal que um ângulo  $\theta_0$  positivo, medido a partir da linha reta  $D_0$  e até à linha reta  $D_a$ , é igual a  $45^\circ$ .

No sistema de coordenadas cilíndricas, o ângulo  $\theta_p$  do ponto P é definido a partir da linha reta  $D_0$  e até a uma linha reta  $D_p$  que passa pelos pontos  $P_z$  e P.

Como visível na figura 9, o ângulo  $\theta_p$  é máximo no ponto A e é igual a um ângulo  $\theta_a$ . O ângulo  $\theta_p$  diminui entre os pontos A e N. No ponto N, o ângulo  $\theta_p$  é mínimo e é igual a um ângulo  $\theta_n$ . Como visível na figura 10, entre os pontos N e C, o ângulo  $\theta_p$  aumenta. No ponto C, o ângulo  $\theta_p$  é máximo e é igual a um ângulo  $\theta_c$ .

Assim, ao longo do bordo de ataque  $212$  e entre os pontos A e C, o ângulo  $\theta_p$ , expresso como função da altura  $Z_p$ , compreende um único mínimo e não compreende o ponto de inflexão.

A derivada do ângulo  $\theta_p$  em relação à altura  $Z_p$  é negativa entre os pontos A e N, é anulada no ponto N e é positiva entre os pontos N e C. A segunda derivada do ângulo  $\theta_p$  em relação à altura  $Z_p$  é positiva entre os pontos A e C.

No momento das fases transitórias do funcionamento da instalação I, por exemplo no momento do arranque da instalação I, o alternador 5 não é acoplado à rede elétrica porque a velocidade de rotação da roda R não é estável e não permite ao alternador 5 libertar um sinal elétrico cuja frequência é igual à frequência da rede elétrica. Por exemplo, na Europa, a frequência da rede elétrica é igual a 50 Hz. Através da forma oca do bordo de ataque 212 das lâminas 21, o escoamento E provoca pouco, ou até nenhuma turbulências e instabilidades, o que permite à velocidade de rotação da roda R ser estabilizada tendo em vista o acoplamento do alternador 5 sobre a rede.

A estabilidade da velocidade de rotação da roda R da invenção pode ser observada no gráfico da figura 4. Para uma altura de queda relativamente significativa, a inclinação da curva C1 no ponto P1 é negativa, como a da curva C2 no ponto P2, o que significa que para uma mesma altura de queda, o funcionamento é estável ao mesmo tempo para a roda 100 do estado da técnica e para a roda R da invenção. No nível do ponto P4, a inclinação da curva C4 é negativa, enquanto a curva C3 no ponto P3, é vertical, o que significa que a velocidade de rotação da roda da invenção é mais estável do que a do estado da técnica. Finalmente, a curva C6 tem uma inclinação ligeiramente negativa no ponto P6, enquanto a inclinação da curva C5, no ponto P5, é positiva, o que significa que a velocidade de rotação da roda R da invenção é mais estável do que a da roda 100 do estado da técnica, para uma altura de queda relativamente baixa.

A forma arqueada para o exterior do véu das lâminas 21 permite acentuar a concavidade dos bordos de ataque 212 e obter uma distância D21 relativamente significativa, sem ter necessidade de cavar o bordo de ataque 212 de modo demasiado acentuado, ao longo da superfície média S, na direção do bordo de fuga 211. Isto permite à máquina hidráulica M, quando funciona no modo de bomba, não perder demasiado em eficácia.

Nenhum dispositivo suplementar é necessário para garantir uma velocidade de rotação satisfatória, a forma das lâminas 21 permitindo a si própria o acoplamento do alternador 5 sobre a rede.

Em alternativa, a linha reta L não é paralela ao eixo de rotação Z da roda R. Por exemplo, o ponto C pode ser desviado para o bordo de fuga 211 em relação ao ponto A.

Em alternativa, a forma côncava dos bordos de ataque 212 é definida por uma porção de elipse ou de parábola, até mesmo por uma curva qualquer.

Numa outra alternativa, a forma curva para o exterior do bordo de ataque 212, da face externa 213 e da face interna 214 de uma lâmina 21 é definida por uma porção de elipse ou de parábola, até mesmo por uma curva qualquer.

Em alternativa, somente algumas lâminas 21 têm o seu bordo de ataque côncavo.

Em alternativa, o ponto N não está exatamente a meia altura entre os pontos A e C. A projeção ortogonal do ponto intermédio N sobre a linha reta L está então situada numa

zona que se estende, ao longo da linha reta L, a partir do meio F da linha reta L e de ambos os lados do meio F estando centrada sobre o meio. A altura H2 da zona é inferior a 80% da altura H da lâmina 21, de preferência inferior a 10%.

Além disso, as diferentes alternativas e formas de realização descritas mais acima podem ser combinadas entre si, total ou parcialmente, para dar lugar a outras implementações da invenção.

Lisboa, 08 de Setembro de 2015

## **REIVINDICAÇÕES**

1. Roda (R) de tipo Francis para máquina hidráulica (M) destinada a ser atravessada por um escoamento forçado de água (E), que compreende:

- uma coroa (1) de simetria de revolução à volta de um eixo de rotação (Z) da roda (R),

- um teto (12) de simetria de revolução à volta do eixo de rotação (Z) e situado em frente da coroa (1),

- uma pluralidade de lâminas (21) arqueadas, solidárias da coroa (1) e do teto (12) e cada uma tendo uma borda central (211) próxima do eixo de rotação (Z) e uma borda periférica (212), oposta à borda central (211), que se estende entre a coroa (1) e o teto (12) e que se destina a ser atravessada primeiramente pelo escoamento (E) quando a máquina hidráulica (M) funciona no modo de turbina,

- a borda periférica (212) de pelo menos uma lâmina (21) sendo curva, com a sua concavidade virada para o exterior da roda (R), uma primeira distância (d1), medida entre um ponto (P) qualquer da borda periférica (212) e uma linha reta (L) que passa, por um lado, por um primeiro ponto de conexão (A) entre a borda periférica (212) e a coroa (1) e, por outro lado, por um segundo ponto de conexão (C) entre a borda periférica (212) e o teto (12) sendo máxima ao nível de um ponto intermédio (N) da borda periférica (212), o raio (Rn) do ponto intermédio (N) sendo estritamente inferior ao raio (Ra) do primeiro ponto de conexão (A), a roda (R) sendo **caracterizada por** o raio (Rn) do ponto intermédio (N) ser estritamente inferior ao raio (Rc) do segundo ponto de ligação (C).

2. Roda (200) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada por** o ponto intermédio (N) estar mais afastado da linha reta (L).

3. Roda (200) de acordo com uma das reivindicações precedentes **caracterizada por** a projeção ortogonal do ponto intermédio (N) sobre a linha reta (L) estar situada numa zona que se estende ao longo da linha reta (L) e que está centrada sobre o meio (F) da linha reta (L) e por a altura (H2) da zona ser inferior a 80% de uma altura (H) de cada lâmina (21), medida entre o primeiro ponto de conexão (A) e o segundo ponto de conexão (C), de preferência inferior a 10%.

4. Roda (R) de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizada por** a borda periférica (212) das lâminas (21) ser na forma de porção de círculo, de elipse, de parábola, até mesmo de qualquer curva.

5. Roda (R) de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizada por** uma primeira relação tendo:

- como denominador, uma altura (H) de uma lâmina (21), medida entre o primeiro ponto de conexão (A) e o segundo ponto de conexão (C),
  - como numerador, uma distância máxima (D21) entre a linha reta (L) e a borda periférica (212),
- estar compreendida entre 0% e 200%, de preferência entre 30% e 80%.

6. Roda (R) de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizada por** o ponto intermédio (N) da borda periférica (212) estar situado a meia distância entre os pontos de conexão (A, C).

7. Roda (R) de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizada por**, num primeiro plano (Pb), paralelo ao eixo de rotação e perpendicular a um segundo plano (Pa) que passa por uma intersecção entre o teto (12) e uma superfície média (S) da lâmina (21) situada entre uma face externa (213) e uma face interna (214) da lâmina (21), e que prolonga essa superfície média, a face externa (213) ser convexa e a face interna (214) ser côncava.

8. Roda (R) de acordo com a reivindicação 7, **caracterizada por**, num primeiro plano /Pb), a forma da face externa (213) e da face interna (214) ser definida por uma porção de círculo, de elipse, de parábola, até mesmo de uma curva qualquer.

9. Roda de acordo com uma das reivindicações 7 e 8, **caracterizada por** uma segunda relação, tendo:

- como denominador, uma altura (H) da lâmina (21), medida entre o primeiro ponto de conexão (A) e o segundo ponto de conexão (C),

- como numerador, uma distância (D22) máxima, medida paralelamente ao primeiro plano (Pb), entre a linha reta (L) e a borda periférica (212).

estar compreendida entre 0% e 200%, de preferência compreendida entre 10% e 40%.

10. Roda (R) de acordo com uma das reivindicações de 7 a 9, **caracterizada por**, no primeiro plano (Pb), o ponto intermédio (N) da borda periférica (212) estar situado a meia distância entre os pontos de conexão (A, C).

**11.** Roda (R) de acordo com uma das reivindicações de 7 a 10, **caracterizada por**, no primeiro plano (Pb), a borda periférica (212) ser curva, com a sua concavidade virada no mesmo sentido que o sentido de rotação (R1) no modo de turbina da roda (200).

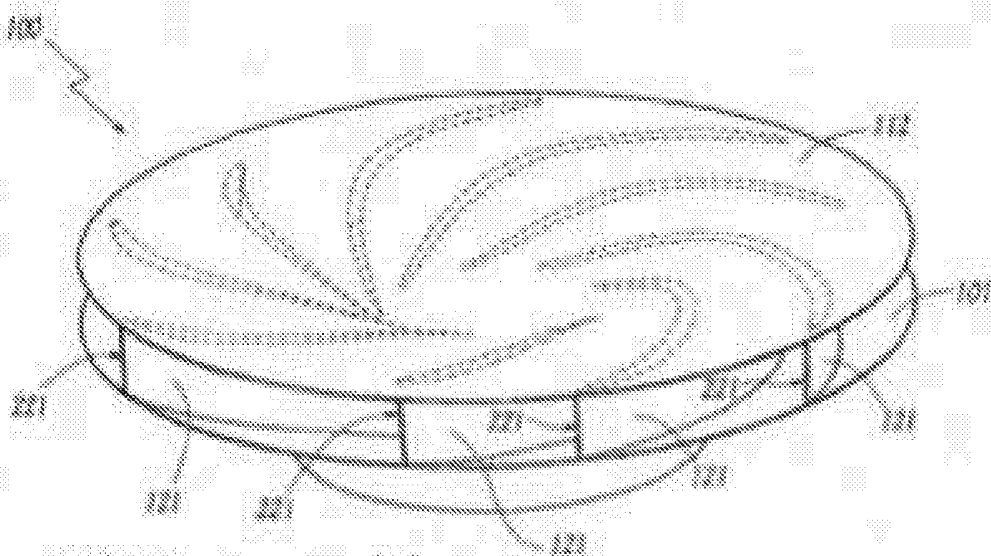
**12.** Roda (R) de acordo com uma das reivindicações de 7 a 11, **caracterizada por** uma segunda distância (d2), medida paralelamente ao primeiro plano (Pb), entre um ponto (P) qualquer da borda periférica (212) e a linha reta (L), ser máxima para o ponto intermédio (N).

**13.** Máquina hidráulica (M), **caracterizada por** estar equipada com uma roda (R) de acordo com uma das reivindicações precedentes.

**14.** Máquina hidráulica (M) de acordo com a reivindicação 13, equipada com uma roda (R) de acordo com a reivindicação 7, **caracterizada por** quando funciona no modo de turbina, o escoamento (E) bater primeiramente na face externa (213) das lâminas (21).

**15.** Instalação (I) de conversão de energia, **caracterizada por** compreender pelo menos uma máquina hidráulica (M) de acordo com uma das reivindicações 13 e 14.

Lisboa, 08 de Setembro de 2015



**Fig. 1 - Estado da Técnica**

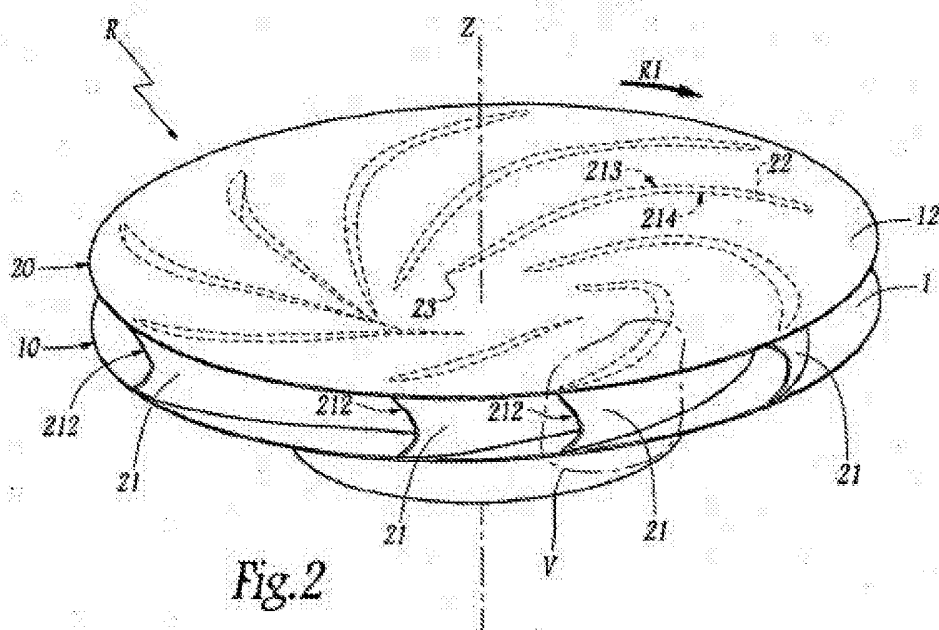


Fig. 2

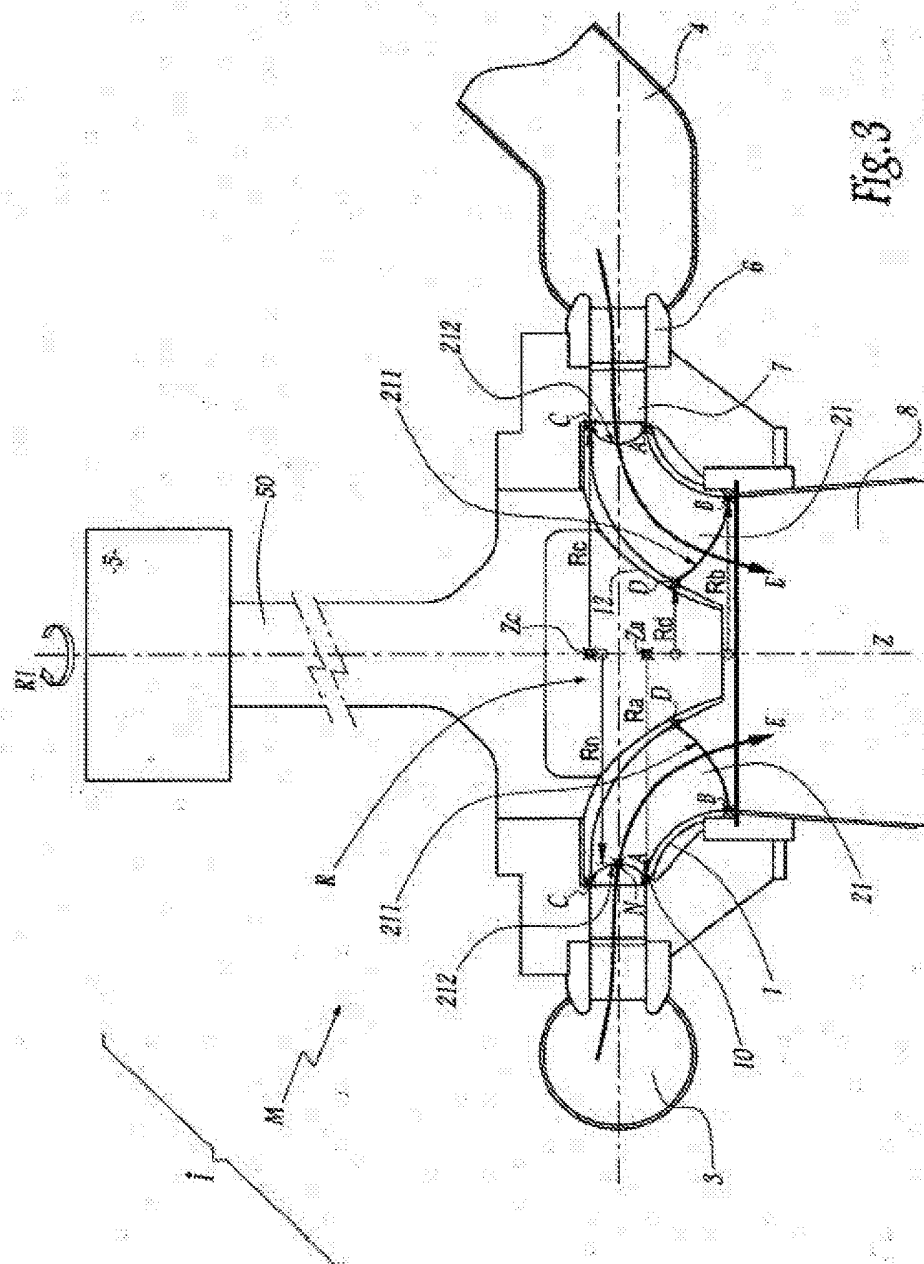


Fig. 3

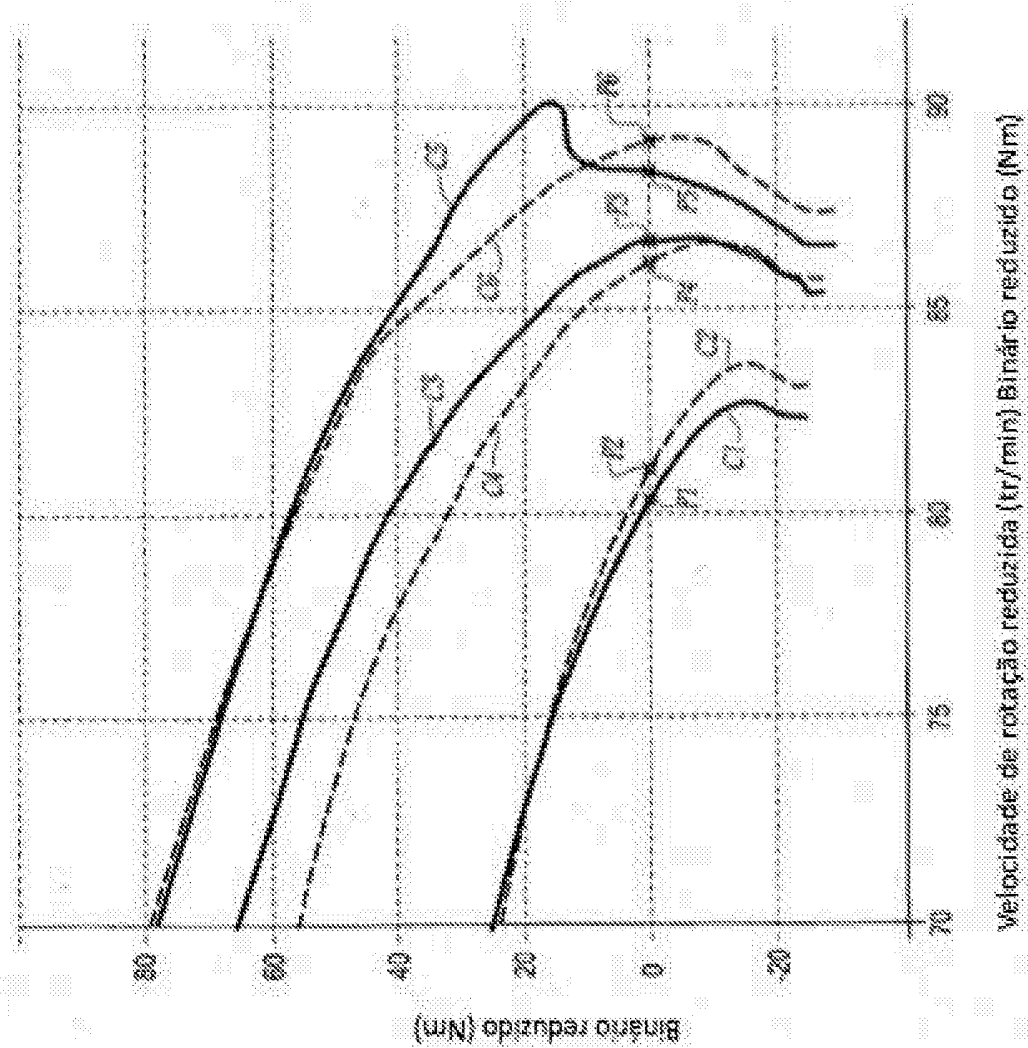


Fig.4

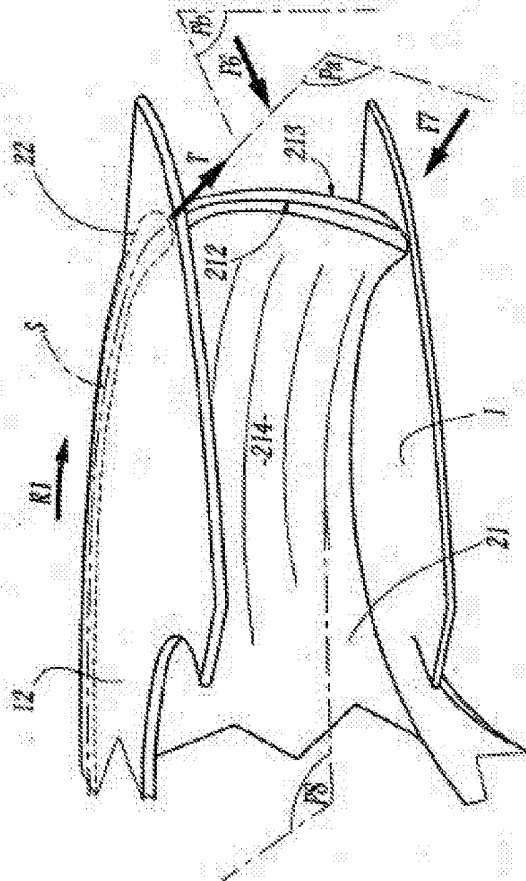


Fig. 5

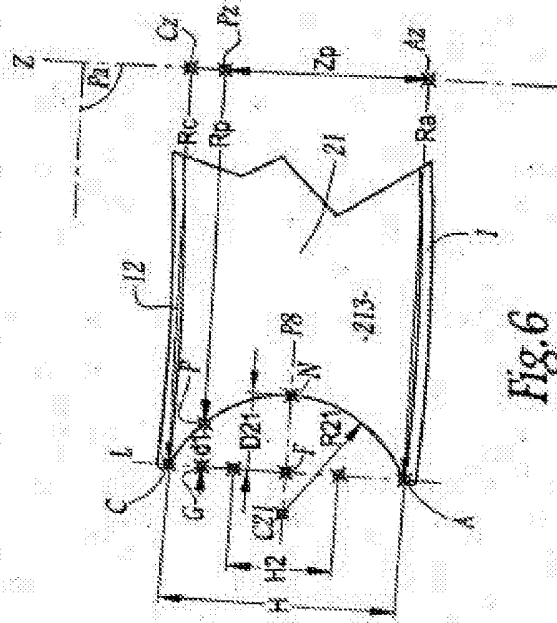


Fig. 6

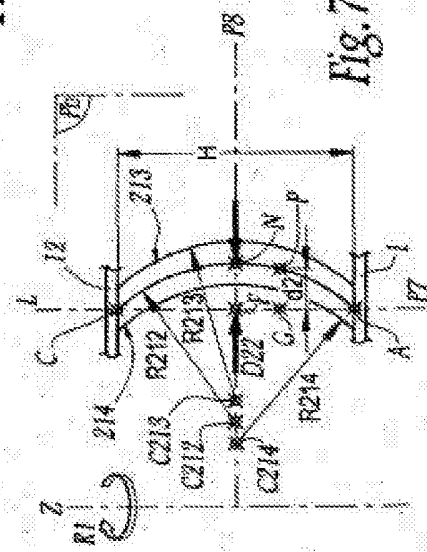


Fig. 7

