

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2011.12.14	(73) Titular(es): IFP ENERGIES NOUVELLES 1 & 4, AVENUE DE BOIS-PRÉAU 92852 RUEIL- MALMAISON CEDEX FR
(30) Prioridade(s): 2010.12.23 FR 1005063	
(43) Data de publicação do pedido: 2013.10.30	
(45) Data e BPI da concessão: 2016.04.06 116/2016	(72) Inventor(es): CHRISTIAN WITTRISH FR PASCAL LONGUEMARE FR
	(74) Mandatário: NUNO MIGUEL OLIVEIRA LOURENÇO RUA CASTILHO, Nº 50 - 9º 1269-163 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **TURBINA EÓLICA OFFSHORE FLUTUANTE COM SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO ATIVA DA INCLINAÇÃO DA NACELA**

(57) Resumo:

A PRESENTE INVENÇÃO REFERE-SE A UMA TURBINA EÓLICA QUE COMPREENDE UMA NACELA (1) INSTALADA NUM MASTRO (2) SUPORTADO POR UM SUPORTE FLUTUANTE. A NACELA ESTÁ ARTICULADA EM RELAÇÃO AO MASTRO NUM PLANO VERTICAL E ELA COMPREENDE MEIOS DE CORREÇÃO (12, 16) DA INCLINAÇÃO DA NACELA, MEIOS DE REGULAÇÃO AUTOMÁTICA DOS MEIOS DE CORREÇÃO EM FUNÇÃO DOS SENSORES DE DETEÇÃO DOS VALORES DE CORREÇÃO, ESTANDO OS MEIOS DE REGULAÇÃO SINCRONIZADOS COM OS MOVIMENTOS DO SUPORTE FLUTUANTE.

RESUMO

"TURBINA EÓLICA OFFSHORE FLUTUANTE COM SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO ATIVA DA INCLINAÇÃO DA NACELA"

A presente invenção refere-se a uma turbina eólica que compreende uma nacela (1) instalada num mastro (2) suportado por um suporte flutuante. A nacela está articulada em relação ao mastro num plano vertical e ela compreende meios de correção (12, 16) da inclinação da nacela, meios de regulação automática dos meios de correção em função dos sensores de deteção dos valores de correção, estando os meios de regulação sincronizados com os movimentos do suporte flutuante.

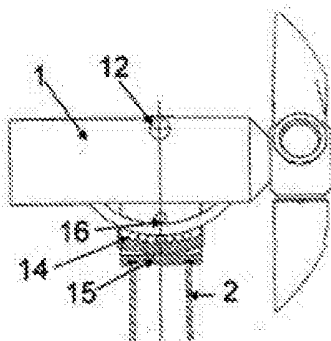


Figura 4

DESCRIÇÃO

"TURBINA EÓLICA OFFSHORE FLUTUANTE COM SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO ATIVA DA INCLINAÇÃO DA NACELA"

O objeto da presente invenção refere-se a turbinas eólicas instaladas no mar, sobre um suporte flutuante e, mais em particular, os sistemas de manutenção do eixo de rotação das pás seguindo uma direção imposta em relação à direção efetiva do vento, para todos os movimentos do suporte da turbina eólica, isto é, o mastro e o seu apoio flutuante.

No caso de uma turbina eólica padrão, a nacela pode transportar três pás (por exemplo de cerca de 60 m de comprimento) ligadas a um rotor que impulsiona, através de um redutor de velocidade, um gerador elétrico e acessórios, tais como o sistema de orientação das pás, transformadores elétricos, um sistema hidráulico, a ventilação. A estrutura da nacela baseia-se numa coroa de orientação, ela própria suportada pelo mastro.

A nacela é constantemente orientada em azimute para o plano de rotação de pás em relação ao vento. Para isso, a nacela pode rodar em relação ao eixo do mastro, por acionamento de uma (ou mais) engrenagens motorizadas, que cooperam com uma coroa dentada. O conjunto de uma nacela pode pesar na ordem de 200 a 300 toneladas.

O mastro, de cerca de 100 m de altura, de suporte da nacela está assente num apoio flutuante mantido e substancialmente estabilizado por linhas de ancoragem em caso de profundidades de água superiores a 100 m.

A nacela da turbina eólica é submetida a muitas forças e limitações relacionadas com a velocidade do vento. Isto resulta numa pressão sobre as pás suportada por um encosto rotativo tendo a sua parte móvel fixa ao eixo do rotor.

A força de impulso ou força axial orientada na direção do vento, tem um valor que é dependente do ângulo de cada pá ("pitch") em relação à direção do vento.

No caso de uma turbina de vento sobre o apoio flutuante, o suporte flutuante é sujeito a várias forças resultantes dos efeitos combinados do vento, das ondas, das correntes marinhas, das linhas de ancoragem, dos efeitos do mastro sobre o suporte flutuante, da sua inclinação e da sua flexão pelas forças aplicadas devido ao vento e à nacela.

O sistema de "turbina de vento sobre suporte flutuante" está sujeito a um conjunto complexo de forças que atuam em direções diferentes, com valores diferentes, estáticos, periódicos, aperiódicos. Estas forças, ligadas e interdependentes, são provenientes dos efeitos do vento sobre as pás e a nacela, o mastro, o suporte flutuante, as linhas de ancoragem e os efeitos do vento, das ondas e das correntes sobre este suporte flutuante.

Trata-se da direção do vento que impõe a direção da força axial aplicada ao rotor pois o plano de rotação das pás deve ser permanentemente orientado na perpendicular à direção do vento, e isso para obter a absorção máxima de energia eólica para um melhor rendimento ou eficiência.

A direção do vento no espaço pode ser definida por dois ângulos: - o ângulo de inclinação feito pela direção do vento relativamente ao plano horizontal tomado como referência e - o ângulo de azimute, que descreve, no mesmo plano horizontal, a direção do vento com a direção do campo magnético terrestre tomado como referência.

As turbinas eólicas convencionais atualmente utilizadas para terra ou no mar fixas ou flutuantes incluem uma nacela móvel em rotação de acordo com o eixo do mastro que pode ser orientado em azimute. Mas nenhuma turbina eólica tem

meios ativos para o controlo da inclinação da nacela em relação à referência horizontal em função das deslocações periódicas devidas à flutuação do suporte, ou às variações da direção do vento.

Assim, a presente invenção refere-se a uma turbina de vento.

A nacela pode ser articulada em torno de um eixo horizontal e assentar sobre um apoio no setor circular centrado sobre o eixo do referido eixo.

A nacela pode incluir um sistema de transferência de massa para mover o centro de gravidade do conjunto suspenso.

Uma massa pode ser transferida para uma corredeira.

Uma massa líquida pode ser transferida por bombagem.

A zona circular pode ter um sistema dentado que coopera com um pinhão motorizado de acordo com os meios de ajustamento automático.

A nacela pode compreender meios para mover o ponto de articulação, de modo a mover o centro de gravidade do conjunto suspenso, em relação ao mastro.

A invenção será melhor compreendida e as suas vantagens aparecerão mais claramente aquando da leitura dos exemplos a seguir, de modo algum limitativos, e ilustrados pelas seguintes figuras anexas, entre as quais:

- a figura 1 mostra esquematicamente uma turbina eólica offshore,
- as figuras 2 e 3 mostram esquematicamente duas formas de realização,
- a figura 4 mostra o princípio da nacela articulada e suportada pela sua base,

- as figuras 5 e 6 mostram esquematicamente a transferência de balanço de massas,
- as figuras 7 e 8 mostram, esquematicamente, os meios para deslocar o centro de gravidade do conjunto suspenso.

O objeto da presente invenção refere-se à estabilização ativa da nacela de uma turbina eólica por meio de atuadores para a manter, permanentemente, orientada ao longo do eixo real do vento tomado em inclinação e em azimute.

A nacela está ligada ao mastro e ao seu apoio. Para isso a orientação da nacela de acordo com o eixo real do vento deve ser feita para todos os ângulos de inclinação e de azimute do mastro e para todos os movimentos periódicos ou aperiódicos, de amplitudes variáveis, movimentos relacionados com a flexibilidade do mastro e o deslocamento do seu suporte, em particular flutuador.

A figura 1 mostra esquematicamente uma turbina eólica offshore cuja nacela 1 suportada pelo mastro 2, oscila com um ângulo α de acordo com a oscilação do suporte flutuante ancorado por três linhas de ancoragem 4. O objetivo da presente invenção é o de dotar a nacela de um sistema de correção do plano de rotação das pás suportadas pela nacela, continuamente como uma função das oscilações do suporte flutuante, ou da dobragem do mastro.

As Figuras 2 e 3 mostram esquematicamente duas formas de realização, no seu princípio.

A figura 2 mostra o princípio do pêndulo invertido, a nacela 1 é suportada por uma base 5 em equilíbrio instável sobre um veio rotativo 6 situado abaixo do centro de gravidade do conjunto móvel, isto é, a nacela e a base. Meios de ativação 7a e 7b ou 9a e 9b, representados por

setas, controlam a posição do eixo 8 da nacela, em relação a uma referência.

A figura 3 mostra o princípio do pêndulo suspenso, ou oscilante, em que a nacela é suspensa sobre um eixo de rotação superior 11. Meios de ativação 10a e 10b, representados por setas, controlam a posição do eixo 8 da nacela, em relação a uma referência.

Por estes dois princípios, os meios de ativação são adaptados para agir de um modo dinâmico para a estabilização da nacela, de modo a fazer correções sincronizadas com a frequência das oscilações.

As direções de referências; inclinação e azimuth em relação, respetivamente, à horizontal e ao norte magnético são dadas por sensores convencionais. Além disso, outros sensores de tais medidas, inclinómetro e acelerómetro de três eixos dispostos na parte móvel (nacela) e com o apoio oscilante (mastro), cata-vento ou medições por um feixe de laser para a marcação da direção do vento, as medidas da velocidade do vento, as medidas de temperatura e de pressão são acopladas ao sistema de controlo de comando automático dos meios de ativação da estabilização estática ou dinâmica da nacela em relação ao mastro.

A Figura 4 mostra uma outra forma de realização cujo princípio é semelhante à de uma nacela suspensa por um eixo de rotação, mas é complementado por um suporte inferior para a nacela para melhor distribuir as cargas e, assim, retomar o peso da nacela sem exigir totalmente o eixo de rotação 12.

Na figura 4, a nacela é presa através de um eixo 12 que permite um ajuste da inclinação. Uma porção da coroa 13 integrante com a nacela repousa sobre uma porção de coroa 14 solidária com a extremidade do mastro 2 por meio de uma

coroa de orientação em azimute 15. Os rolos interpostos entre as duas coroas permitem a deslocação relativa entre as duas coroas aquando de uma mudança de inclinação, enquanto suporta as forças de compressão devidas ao peso da nacela e das pás. A coroa 13 ligada à nacela compreende dentes de engrenagem para cooperar com um carreto 16 motorizado. Nesta forma de realização, o eixo de rotação já não suporta todas as cargas.

É claro que, outros meios mecânicos no âmbito da arte podem ser utilizados para rodar a parte móvel em relação à parte fixa.

No que respeita ao modo de realização pendular, dois sistemas de estabilização podem ser previstos, ligados ou usados simultaneamente:

- Meios de estabilização "estáticos" utilizando o princípio de balanceamento do peso da nacela submetida a diferentes forças aplicadas como o efeito do vento que empurra as pás. Esta estabilização estática utiliza o efeito da força da gravidade em um pêndulo. Além disso, sistemas adaptativos podem mover o centro de gravidade da nacela para, ou compensar as forças exteriores variáveis (vento, efeito giroscópico, ...), ou para permitir ter um tempo de resposta suficientemente rápido do sistema de controlo automático.

As figuras 5 e 6 ilustram dois meios de estabilização ditos de "estáticos". A figura 5 mostra a transferência de uma massa 17 ligada à nacela 1 numa calha ou equivalente 18. Esta massa altera a posição do centro de gravidade em relação ao eixo do veio de rotação, o que proporciona um braço de alavanca que desenvolve um binário de restabelecimento. A frequência da deslocação da massa de equilíbrio 17 é, portanto, substancialmente da mesma ordem que a frequência das oscilações que devem ser compensadas.

A figura 6 está dentro do mesmo princípio, mas a massa transferida é um volume de líquido deslocado por bombagem entre dois tanques 19 e 20.

As Figuras 7 e 8 mostram o princípio em que o conjunto suspenso, nacela e pás, se move num carril 21 ao longo de um eixo paralelo ao rotor, em relação ao eixo de rotação ligado ao mastro. A deslocação da nacela ao longo deste eixo move o seu centro de gravidade em relação ao seu eixo de rotação. Assim, toda a massa da nacela contribui para o seu posicionamento e já não uma massa adicional anexa, sólida ou líquida, para mover. A figura 7 mostra a variante articulada suspensa e a figura 8 mostra a variante articulada instável.

- Meios de estabilização "dinâmicos" e por atuadores hidráulicos, por atuadores elétricos ou por sistemas eletromecânicos de engrenagens de cremalheiras ou de pinhões sobre coroas. Um dos objetivos é usar um mínimo de potência para corrigir os movimentos de inclinação periódica da nacela em relação ao mastro, os movimentos da nacela sendo do tipo periódico ou aperiódico com amplitudes angulares limitadas.

Note-se que o eixo de rotação da nacela pode ser deslocado para a frente ou para trás em relação ao centro de gravidade da nacela. Com efeito, o impulso do vento tende a dobrar o mastro no sentido oposto ao do vento, o eixo de rotação da nacela pode ser deslocado, posicionado ligeiramente para trás do centro de gravidade da nacela para permitir que a nacela, na ausência de vento, se dobre naturalmente pela ação do peso da nacela.

As vantagens da presente invenção podem ser especialmente:

- A nacela é padrão contendo o multiplicador de velocidade e o gerador,

- utilização da força giroscópica de rotação das pás pelo vento numa direção vertical (para cima ou para baixo)
- utilização do efeito de pêndulo direto ou inverso de acordo com a variante proposta,
- correção contínua da inclinação, com meios que requerem pouca energia.

O eixo do veio de rotação da nacela é de preferência relativamente próximo do eixo do rotor da nacela.

O rotor é o eixo de acionamento das pás, o rotor está ligado, no caso geral, ao multiplicador de velocidade e ao gerador. A força de impulso do vento no plano de rotação das pás, por exemplo de superfície de $10\,000\text{ m}^2$, é considerável. Esta força de impulso do vento é transmitida pelas pás ao rotor e à nacela. Para evitar um binário muito importante gerado pela força de impulso axial sobre o rotor na distância entre o eixo do rotor e o eixo de rotação da nacela, a distância entre o eixo de rotação da nacela e o eixo do rotor deve ser otimizada. Em presença de vento, a força de impulso do vento tende a inclinar o mastro na direção oposta à direção do vento e, assim, a fazer levantar a parte frontal da nacela. Quando a nacela é móvel em torno do seu eixo de rotação e que de acordo com a opção escolhida este eixo de rotação se situa acima do eixo do rotor, o binário rotacional aplicado pela força de impulso do vento sobre o eixo do rotor tende a diminuir a frente da nacela para a colocar de acordo com o eixo do vento.

A otimização do ponto de rotação da nacela axialmente e radialmente em relação ao seu centro de gravidade em relação ao eixo de rotação do rotor vai reduzir as forças de correção a serem aplicadas para manter a nacela horizontal.

Lisboa, 9 de junho de 2016

REIVINDICAÇÕES

1. Turbina eólica compreendendo uma nacela (1) instalada num mastro (2) suportada por um suporte flutuante, caracterizada por a nacela ser articulada em relação ao referido mastro, num plano vertical, e pelo facto de compreender meios de correção da inclinação da nacela, meios de ajustamento automático dos referidos meios de correção com base em sensores de deteção de valores de correção, os referidos meios de ajustamento sendo sincronizados com os movimentos do suporte flutuante e sendo configurados para manter a nacela orientada em permanência ao longo do eixo real do vento marcado em inclinação e em azimute, e por a referida nacela ser suspensa e articulada sobre um eixo horizontal.

2. Turbina eólica de acordo com a reivindicação 1, em que a nacela é articulada em torno do veio horizontal e assenta num batente num setor circular centrado no eixo do referido veio.

3. Turbina eólica de acordo com a reivindicação 2, em que a nacela compreende um sistema de transferência de massa para mover o centro de gravidade do conjunto suspenso.

4. Turbina eólica de acordo com a reivindicação 3, em que uma massa é transferida sobre uma corrediça.

5. Turbina eólica de acordo com a reivindicação 3, em que uma massa líquida é transferida por bombagem.

6. Turbina eólica de acordo com a reivindicação 2, em que o setor circular compreende um sistema dentado que coopera com um pinhão motorizado de acordo com os meios de ajustamento automático.

7. Turbina eólica de acordo com a reivindicação 1, em que a nacela compreende meios para mover o ponto de articulação, de modo a mover o centro de gravidade do conjunto suspenso, em relação ao mastro.

Lisboa, 9 de junho de 2016

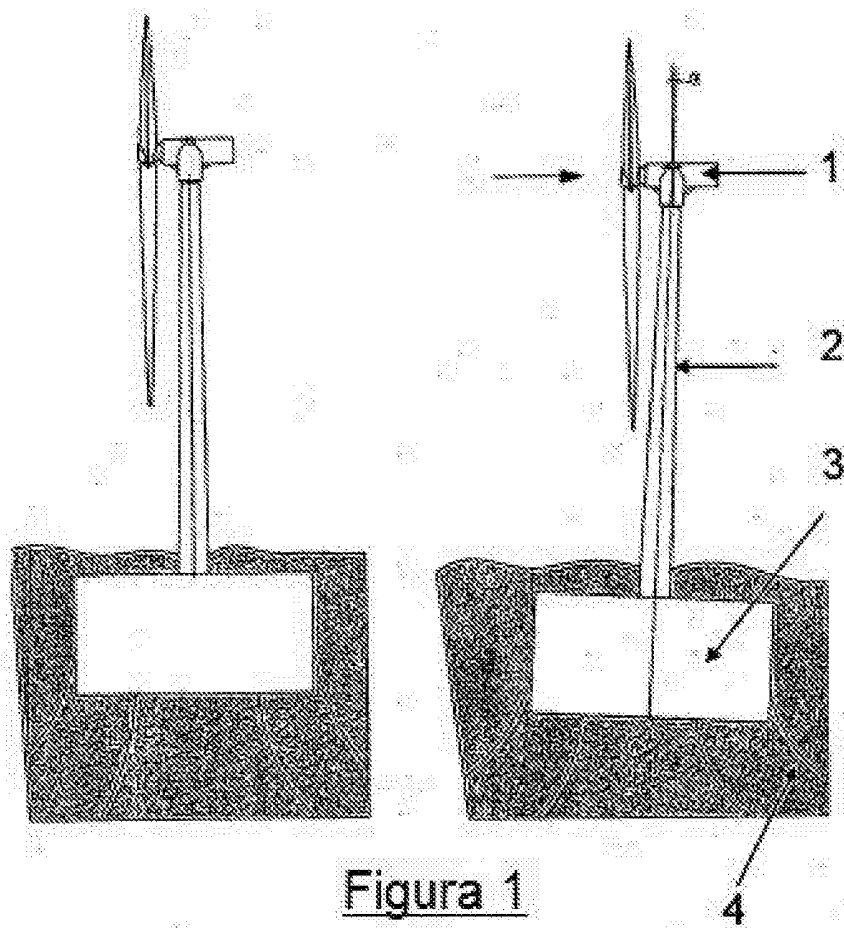


Figura 1

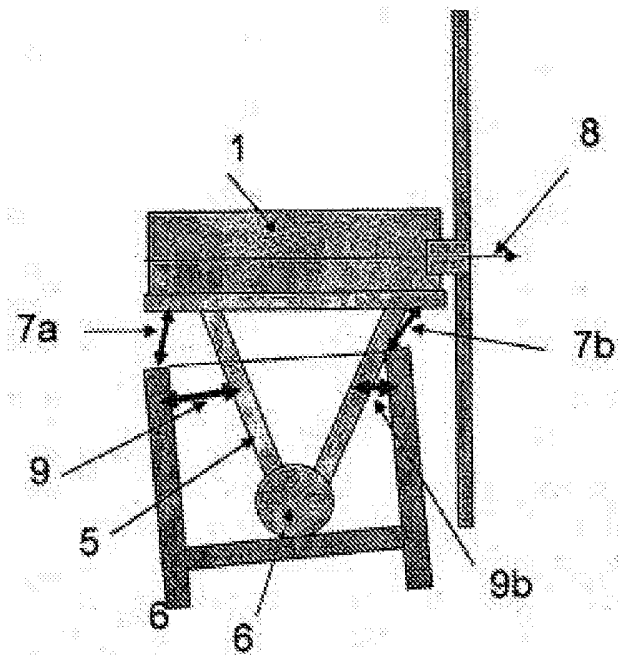


Figura 2

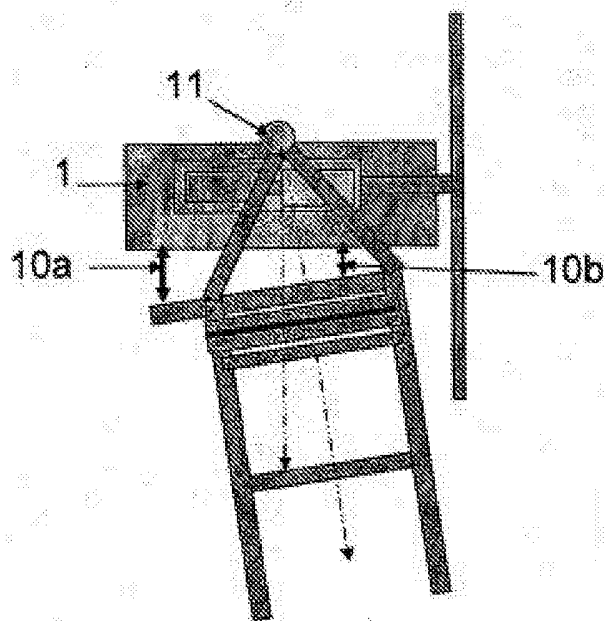


Figura 3

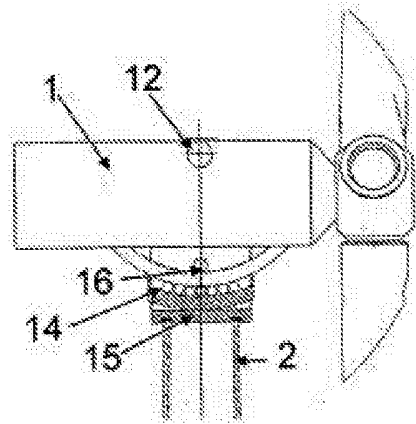


Figura 4

Figura 5

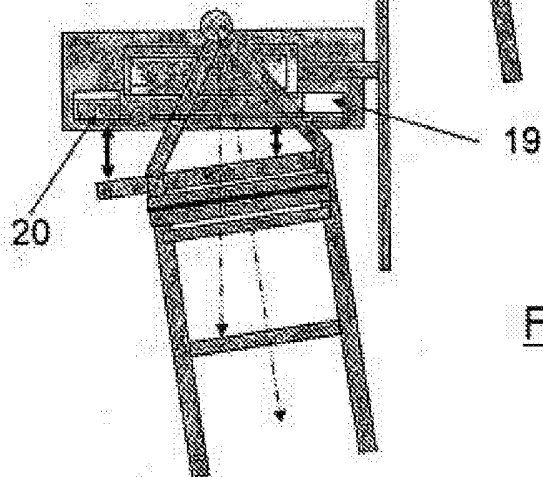
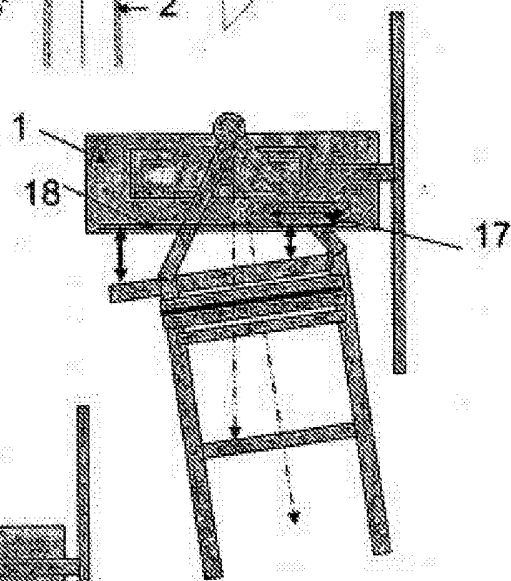


Figura 6

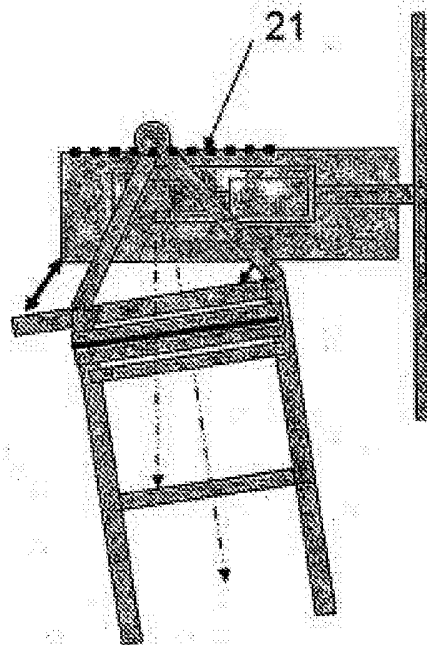


Figura 7

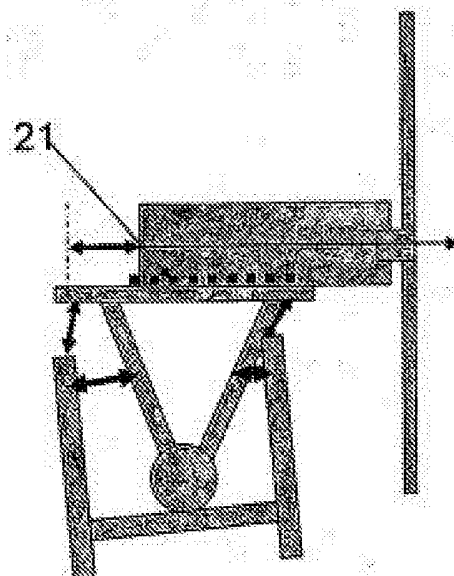


Figura 8